



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO  
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

## **Sistemas Lumínicos de Alta Eficiencia Energética para el Aprovechamiento de la Iluminación Natural**

**Rocío Elena Moyo Martínez**

Tesis para optar por el grado de Maestría en Diseño  
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática en Confort Lumínico

Miembros del Jurado:

**Dr. José Roberto García Chávez**  
*Director de la tesis*

Dra. Esperanza García López  
Dr. Víctor Fuentes Freixanet  
Dr. Ricardo Aguayo González  
Dr. Luis Fernando Guerrero Vaca

México D.F.  
6 de Julio, 2009

# “SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL”

**Caso de estudio:**  
**Gimnasio de la Universidad Autónoma**  
**Metropolitana Azcapotzalco.**



*Presenta:*

Arq. Rocio Elena Moyo Martínez

*Director de Tesis:*

Dr. José Roberto García Chávez

Maestría en Arquitectura Bioclimática Línea:  
Confort Lumínico.

Posgrado en Diseño,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Azcapotzalco



## **DEDICATORIAS**

A mis hijos Gerardo y Melissa,

A mi esposo por apoyarme todo este tiempo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Dr. José Roberto García Chávez por su dedicación, enseñanza, apoyo y tiempo que me brindo, en este proceso.

Muchas gracias a mi jurado por su tiempo y todas las atenciones brindadas.....

Dra. Esperanza García López

Dr. Víctor Fuentes Freixanet

Dr. Ricardo Aguayo González

Dr. Luis Fernando Guerrero Vaca

## RESUMEN

En la arquitectura la utilización de iluminación natural tiene un impacto importante en la problemática energética. La mayoría de los edificios consumen más del 50% de la energía que se produce, creando problemas de contaminación. En este proyecto de investigación se propuso como caso de estudio un sistema de iluminación natural para reducir el consumo energía y dar confort a los usuarios, en un edificio deportivo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Se realizó un diagnostico en el edificio existente, a través de mediciones en condiciones de cielo despejado, cielo semi-nublado y cielo nublado. Se construyó un modelo físico tridimensional, calibrado a las condiciones del edificio actual en el cual se evaluaron las alternativas de alta eficiencia energética como son los ductos lumínicos que consistieron en una selección de alternativas de diseño: diámetro, geometría, forma, materiales al interior y distribución espacial. Los resultados del trabajo experimental demostraron que la opción de diseño que mejor funcionamiento presentó fue el ducto lumínico de 45cm de diámetro, con un espaciamiento espacial de 3m, al interior del ducto forrado con material de alta reflectancia, con una altura exterior de 90cm. Comprobándose que la utilización del sistema lumínico de alta eficiencia puede reducir en aproximadamente 50% el uso de iluminación artificial, manteniéndose dentro de los niveles de confort de los estándares internacionales y nacionales. La aplicación de este sistema lumínico de alta eficiencia en otros edificios similares puede tener un beneficio importante, tanto en el ahorro de energía como en el mejoramiento del medio ambiente y el confort lumínico de los ocupantes.

## **ABSTRACT**

The use of natural illumination has an important impact in the energy use. Most of the buildings consume more than 50% of the energy produced, which provokes pollution. This investigation builds with the analysis and evaluation of the performance of high efficiency luminous systems to reduce the energy construction while proved in comfort from the occupants. The first stage of this investigation consisted of detail diagnostics of the case of the current case study building, sport center building throw monitoring under clear cloudy and semi-cloudy sky conditions. The next stage of this investigation included the construction of the tree dimensional physical model, calibrated, relative to the real case study building. This model was used to implement the high luminous efficiencies systems, the design alternatives investigated were light ducts, and the design variables were: geometry, form, internal and external material and distribution. The results show that the best design alternative was de luminous ducts, in 45 cm in diameter with the special distribution of 3meters, with specula film inside, and external height of 90centimetrers about the roof level and with the ceiling silver painted. The use of this design alternative can reduce about 50 percent the use of electricity for lighting while maintaining the comfort luminous of the occupants, recommended for the international standards. The application of this luminous high efficient system can give important benefits for energy savings and for improved the environment.

## ÍNDICE GENERAL

Título	“SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL”	
DEDICATORIAS	.....	III
AGRADECIMIENTOS	.....	IV
RESUMEN	.....	V
ABSTRACT	.....	VI
ÍNDICE GENERAL	.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	.....	XXXII
ÍNDICE DE FORMULAS	.....	XXXIV

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento.....	2
1.3.	Objetivo General.....	2
	1.3.1. Objetivo específico.....	2
1.4.	Hipótesis .....	3
1.5.	Motivación para Elaborar la Investigación.....	3
1.6.	Procedimiento.....	3
1.7.	Síntesis del Desarrollo de la Investigación.....	4

## **CAPÍTULO II**

### **EL SOL COMO FUENTE DE LUZ NATURAL**

2.1.	La Utilización del Sol como Alternativa de Iluminación .....	9
2.2.	Espectro Electromagnético de la Luz.....	11
2.3.	Coordenadas Solares Principales.....	12
2.4.	Ventajas de la Utilización de la Iluminación Natural .....	15

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

3.1.	Uso de la Energía en los Edificios. ....	17
3.2.	Confort Lumínico. ....	18
3.3.	Deslumbramiento y Contraste .....	21
3.3.1.	Deslumbramiento.....	21
3.3.2.	Contraste.....	25
3.4.	Parámetros Lumínicos.....	26
3.4.1.	Flujo Luminoso .....	28
3.4.2.	Intensidad Luminosa (I) .....	29
3.4.3.	La Iluminancia (E).....	29
3.4.4.	Luminancia (L).....	33
3.4.5.	Luminosidad .....	35
3.5.	Niveles de Iluminación Recomendados por Estándares Internacionales y Nacionales.....	36
3.5.5.	Estándares Internacionales .....	36



3.5.6.	Estándares Nacionales .....	39
3.6.	El Color en la Iluminación .....	44
3.6.1.	El Color de la Luz .....	44
3.6.2.	Temperatura de Color.....	45
3.6.3.	El Índice de Rendimiento de Color (IRC) .....	50
3.6.4.	Factor de Uniformidad sobre el Plano de Trabajo .....	56
3.6.5.	Valores de reflectancia .....	57
3.6.6.	Valores de Transmitancia .....	58
3.7.	Estrategias de Diseño Lumínico .....	60
3.8.	Métodos de Predicción de Iluminación.....	62
3.8.1.	Métodos Matemáticos.....	62
3.8.2.	Método de Modelos Físicos para Predicción del Comportamiento de la Luz Natural .....	64
3.8.3.	Métodos Computacionales .....	67

## **CAPÍTULO IV**

### **SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

#### **ESTADO DEL ARTE**

4.1.	Sistemas para Control de Luz Natural por Inter-Reflexiones.....	71
4.1.1.	Ductos Lumínicos. ....	74
4.1.2.	Refletores de Luz ( <i>Light Shelves</i> ). ....	75
4.1.3.	Sistemas de Seguimiento Solar. ....	78
4.1.4.	Paneles Prismáticos para el Control de la Transmisión de la Luz por Refracción. ....	80

4.1.5.	Fibra Óptica .....	81
4.1.6.	Lentes Cóncavos y Convexos.....	82
4.2.	Utilización de los Sistemas de Control de Iluminación Cenital Natural Aplicados en Proyectos Arquitectónicos.....	83
4.3.	Sistemas de iluminación cenital de alta eficiencia.....	89
4.3.1.	Ductos Lumínicos .....	91
4.3.2.	Ejemplos Representativos de Obras Construidas con Ductos Lumínicos .....	92

## **CAPITULO V**

### **CONDICIONES LUMÍNICAS**

5.1.	Condiciones Lumínicas en la Ciudad de México .....	109
5.2.	Tipos de Cielos.....	109
5.2.1.	Cielo Cubierto.....	111
5.2.2.	Cielo Cubierto Uniforme.....	113
5.2.3.	Cielo Claro.....	114
5.2.4.	Cielo Parcialmente Despejado.....	115
5.2.5.	Cielo Nublado .....	116
5.2.6.	Cielo Artificial.....	117
5.3.	Aplicabilidad en la Toma de Datos.....	123
5.4.	Síntesis de los Datos de La Ciudad de México .....	124
5.4.1.	Datos del Tipo de Cielo de la Ciudad de México (NUBOSIDAD) .....	124
5.4.2.	Cuántos Días al año tiene Horas de Insolación la Ciudad de México .....	127

## **CAPÍTULO VI**

### **CASO DE ESTUDIO: GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO**

6.1.	Descripción General del Gimnasio UAM. Azcapotzalco.....	131
6.1.2.	Descripción de Fachadas .....	133
6.1.3.	Obstrucciones en el Edificio del Gimnasio UAM- Azcapotzalco .....	135
6.2.	Dimensiones.....	138
6.3.	Justificación del Caso de Estudio .....	142
6.4.	Normatividad Internacional para Gimnasios .....	145

## **CAPÍTULO VII**

### **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

7.1.	Método de Investigación Aplicado en el Caso de Estudio.....	148
7.2.	Diagnostico del Problema.....	148
7.3.	Determinación de las Características Físicas del Caso de Estudio.....	149
7.4.	Análisis del Consumo de Energía en el Caso de Estudio .....	150
7.4.1.	Estimaciones de Ahorro Energético.....	150
7.5.	Planteamiento del Problema para realizar el Monitoreo de las condiciones de Iluminación del Edificio .....	154
7.5.1.	Fase 1. Proceso Experimental, Valores de Reflectancia.....	156
7.5.2.	Valores de Transmitancia de las Ventanas.....	157
7.5.3.	Fase 2. Proceso Experimental en el Edificio Real.....	157
7.6.	Metodología de las Medición de los Niveles de Iluminación al Interior del Edificio. ....	160
7.6.1.	Análisis de los Datos Obtenidos por el Monitoreo.....	161

7.7.	Monitoreo del Edificio, Caso de Estudio. Tablas y Gráficas. ....	162
	7.7.1.1. Condición 1, Monitoreo .....	164
	7.7.1.2. Condición 1, Factor de Día .....	165
	7.7.2.1. Condición 2, Monitoreo .....	166
	7.7.2.2. Condición 2, Factor de Día .....	167
	7.7.3.1. Condición 3, Monitoreo .....	168
	7.7.4.1. Condición 4, Monitoreo .....	169
	7.7.4.2. Condición 4, Factor de Día .....	170
	7.7.5.1. Condición 5, Monitoreo .....	171
	7.7.5.2. Condición 5, Factor de Día .....	172
	7.7.6.1. Condición 6, Monitoreo .....	173
	7.7.6.2. Condición 6, Factor de Día .....	174
7.8.	Análisis de los Resultados .....	175
7.9.	Proceso para la Evaluación Lumínica en el Modelo Tridimensional.....	179
7.9.1.	Elaboración del Modelo Tridimensional a Escala del Caso de Estudio .....	179
7.9.2.	Metodología de las Mediciones en el Modelo del Caso de Estudio .	186
7.9.3.	Análisis de los Datos Obtenidos por el Monitoreo. ....	190
	7.10. Monitoreo del Modelo Tridimensional. Tablas y Gráficas. ....	192
	7.10.1.1. Condición 7, Monitoreo .....	194
	7.10.1.2. Condición 7, Factor de Día.....	195
	7.10.2.1. Condición 8, Monitoreo .....	196
	7.10.2.2. Condición 8, Factor de Día.....	197

7.10.3.1.	Condición 9, Monitoreo .....	198
7.10.3.2.	Condición 9, Factor de Día.....	199
7.10.4.1.	Condición 10, Monitoreo .....	200
7.10.4.2.	Condición 10, Factor de Día.....	201
7.11.	Análisis de los Resultados del Modelo Tridimensional.....	202
7.12.	Análisis Comparación del Edificio de Caso de Estudio y el Modelo Tridimensional. ....	204

## **CAPÍTULO VIII**

### **SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

8.1	Proceso Metodológico para la Selección de Alternativas .....	207
8.2.	Fase 1. Determinación de las Variables de Diseño al Caso de Estudio. ....	208
8.3.	Fase 2. Describir los Pasos para la Realización en el Caso de Estudio.....	211
8.4.	Fase 3. Evaluación Experimental de las Alternativas de Diseño. ....	217
8.5.	Alternativas de Diseño propuestas para el Monitoreo del Modelo Tridimensional con Ductos Lumínicos.....	218
8.5.1.	Monitoreo del Modelo Tridimensional con Ductos Lumínicos. Tablas y Gráficas. ....	220
8.5.1.1	Condición 11, Monitoreo .....	227
8.5.1.2.	Condición 11, Transmitancia de los Materiales .....	228
8.5.1.3.	Condición 11, Factor de Día.....	229
8.5.2.1.	Condición 12, Monitoreo .....	230
8.5.2.2.	Condición 12, Transmitancia de los Materiales .....	231
8.5.2.3.	Condición 12, Factor de Día.....	232

8.5.3.1. Condición 13, Monitoreo de Comprobación. ....	233
8.5.4.1. Condición 14, Monitoreo .....	234
8.5.4.2. Condición 14, Transmitancia de los Materiales .....	235
8.5.4.3. Condición 14, Factor de Día.....	236
8.5.5.1. Condición 15, Monitoreo .....	237
8.5.5.2. Condición 15, Transmitancia de los Materiales .....	238
8.5.5.3. Condición 15, Factor de Día.....	239
8.5.6.1. Condición 16, Monitoreo de Comprobación .....	240
8.5.7.1. Condición17, Monitoreo .....	241
8.5.7.2. Condición 17, Transmitancia de los Materiales .....	242
8.5.7.3. Condición 17, Factor de Día.....	243
8.5.8.1. Condición 18, Monitoreo .....	244
8.5.8.2. Condición 18, Transmitancia de los Materiales .....	245
8.5.8.3. Condición 18, Factor de Día.....	246
8.5.9.1 .Condición 19, Monitoreo de Comparación .....	247
8.5.10.1 Condición 20, Monitoreo .....	248
8.5.10.2. Condición 20, Transmitancia de los Materiales .....	249
8.5.10.3. Condición 20, Factor de Día.....	250
8.5.11.1. Condición 21, Monitoreo .....	251
8.5.11.2. Condición 21, Transmitancia de los Materiales .....	252
8.5.11.3. Condición 21, Factor de Día.....	253
8.5.12.1. Condición 22, Monitoreo .....	254
8.5.12.2. Condición 22, Transmitancia de los Materiales .....	255



8.5.12.3. Condición 22, Factor de Día.....	256
8.5.13.1. Condición 23, Monitoreo .....	257
8.5.13.2. Condición 23, Transmitancia de los Materiales .....	258
8.5.13.3. Condición 23, Factor de Día.....	259
8.5.14.1. Condición 24, Monitoreo .....	260
8.5.14.2. Condición 24, Transmitancia de los Materiales .....	261
8.5.14.3. Condición 24, Factor de Día.....	262
8.5.15.1. Condición 25, Monitoreo .....	263
8.5.15.2. Condición 25, Transmitancia de los Materiales .....	264
8.5.15.3. Condición 25, Factor de Día.....	265
8.5.16.1. Condición 26, Monitoreo .....	266
8.5.16.2. Condición 26, Transmitancia de los Materiales .....	267
8.5.16.3. Condición 26, Factor de Día.....	268
8.5.17.1. Condición 27, Monitoreo .....	269
8.5.17.2. Condición 27, Transmitancia de los Materiales .....	270
8.5.17.3. Condición 27, Factor de Día.....	271
8.5.18.1. Condición 28, Monitoreo .....	272
8.5.18.2. Condición 28, Transmitancia de los Materiales .....	273
8.5.18.3. Condición 28, Factor de Día.....	274
8.5.19.1. Condición 29, Monitoreo .....	275
8.5.19.2. Condición 29, Transmitancia de los Materiales .....	276
8.5.19.3. Condición 29, Factor de Día.....	277

8.7.	Monitoreo de los Niveles de Iluminación de la Alternativa de Diseño Seleccionado .....	278
8.7.1.	Monitoreo de la Alternativa de Diseño Seleccionada en el Modelo Tridimensional. ....	288
8.8.	Monitoreo del Modelo Tridimensional con la Óptima Alternativa de Diseño del Ductos Lumínicos. Tablas y Graficas.....	290
	8.8.2.1. Condición 30, Monitoreo .....	295
	8.8.2.2. Condición 30, Transmitancia de los Materiales .....	296
	8.8.2.3. Condición 30, Factor de Día.....	297
	8.8.3.1. Condición 31, Monitoreo .....	298
	8.8.3.2. Condición 31, Transmitancia de los Materiales .....	299
	8.8.3.3. Condición 31, Factor de Día.....	300
	8.8.4.1. Condición 32, Monitoreo .....	301
	8.8.4.2. Condición 32 Transmitancia de los Materiales .....	302
	8.8.4.3. Condición 32, Factor de Día.....	303
	8.8.5.1. Condición 33, Monitoreo .....	304
	8.8.5.2. Condición 33, Transmitancia de los Materiales .....	305
	8.8.5.3. Condición 33, Factor de Día.....	306
	8.8.6.1. Condición 34, Monitoreo .....	307
	8.8.6.2. Condición 34, Transmitancia de los Materiales .....	308
	8.8.6.3. Condición 34, Factor de Día.....	309
	8.8.7.1. Condición 35, Monitoreo .....	310
	8.8.7.2. Condición 35, Transmitancia de los Materiales .....	311
	8.8.7.3. Condición 35, Factor de Día.....	312

8.8.8.1. Condición 36, Monitoreo .....	313
8.8.8.2. Condición 36, Transmitancia de los Materiales .....	314
8.8.8.3. Condición 36, Factor de Día.....	315
8.8.9.1. Condición 37, Monitoreo .....	316
8.8.9.2. Condición 37, Transmitancia de los Materiales .....	317
8.8.9.3. Condición 37, Factor de Día.....	318
8.8.10.1. Condición 38, Monitoreo .....	319
8.8.10.2. Condición 38, Transmitancia de los Materiales .....	320
8.8.10.3. Condición 38, Factor de Día.....	321
8.9. Comportamiento Lumínico de los Ductos Lumínicos con Rayo Láser.....	322

## **CAPÍTULO IX**

Conclusiones .....	329
Bibliografía .....	333
Referencias.....	336
Bibliografía Electrónica .....	338
Curriculum Vitae.....	342

## **ANEXOS**

Anexo I Planos Arquitectónicos .....	346
Anexo I Horario de uso del Gimnasio.....	349
Anexo III Planos de las mediciones en modelo tridimensional.....	350
Anexo IV GNOMON.....	356

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

#### EL SOL COMO FUENTE DE LUZ NATURAL

<b>Fig. 1</b>	El Sol como fuente de luz natural.....	10
<b>Fig. 2</b>	Espectro Electromagnético.....	11
<b>Fig. 3</b>	El Espectro de la Luz Visible.....	12
<b>Fig. 4</b>	Determinación de los equinoccios.....	13
<b>Fig. 5</b>	Diagrama de Azimut y el Cenit.....	14

### CAPÍTULO III

#### MARCO TEÓRICO

<b>Fig. 6</b>	Galería de Arte, en Buenos Aires .....	23
<b>Fig. 7</b>	El contraste es mayor la ventana es de mayores dimensiones.....	26
<b>Fig. 8</b>	El contraste es menor, la ventana es de menores dimensiones .....	26
<b>Fig. 9</b>	Flujo Luminoso .....	28
<b>Fig. 10</b>	Intensidad Luminosa .....	29
<b>Fig. 11</b>	Esquema de la Ley de la Inversa al Cuadrado.....	30
<b>Fig. 12</b>	Suma de las Iluminancias de una superficie .....	31
<b>Fig. 13</b>	Emisión de la luminancia .....	33
<b>Fig. 14</b>	Esquema de luminancia incidente en una superficie.....	33
<b>Fig. 15</b>	Luminosidad.....	35
<b>Fig. 16</b>	Diagrama de la definición del factor de Día.....	42
<b>Fig. 17</b>	Área de estudio, sensación de calidez y frialdad en el espacio.....	44
<b>Fig. 18</b>	Temperatura del color .....	45
<b>Fig. 19</b>	Sala de Juntas con temperatura de color TC 4000K (amarilla).....	47
<b>Fig. 20</b>	Sala de Juntas con temperatura de color azul TC 12,000K.....	47
<b>Fig. 21</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 8000K .....	47
<b>Fig. 22</b>	Sala de Juntas con temperatura de color TC 9000K .....	47

<b>Fig. 23</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 4000K .....	47
<b>Fig. 24</b>	Sala de juntas con temperaturas de color TC 3500K .....	47
<b>Fig. 25</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 11000K .....	48
<b>Fig. 26</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 11000K.....	48
<b>Fig. 27</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 14000K .....	48
<b>Fig. 28</b>	Sala de juntas con temperatura de color TC 16000K.....	48
<b>Fig. 29</b>	Reproducción de la luz natural al 100% .....	49
<b>Fig. 30</b>	Representación grafica de las fuentes lumínicas con su respectiva temperatura de color.....	50
<b>Fig. 31</b>	Reflexión total de la luz blanca.....	51
<b>Fig. 32</b>	Absorción de la luz blanca.....	51
<b>Fig. 33</b>	Reflexión de los rayos solares en según sea el material de la superficie.....	53
<b>Fig. 34</b>	Transmisión de los rayos solares en según sea el material de la superficie.....	54
<b>Fig. 35</b>	Incidencia de un rayo en superficies: especulares, difusa y semidifusa.....	55
<b>Fig. 36</b>	Esquema del Método del Lumen.....	63
<b>Fig. 37</b>	Modelo tridimensional a escala.....	64
<b>Fig. 38</b>	Espacio Real del modelo tridimensional.....	65
<b>Fig. 39</b>	Programa Sky Vision.....	67
<b>Fig. 40</b>	Pantalla principal del programa SkyVision.....	68

## **CAPÍTULO IV**

### **SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

#### **ESTADO DEL ARTE**

<b>Fig. 41</b>	Museum, London. Ernst Wasmuth La casa museo Soane .....	71
<b>Fig. 42</b>	Espaciado de ducto lumínico.....	73
<b>Fig. 43</b>	Geometría del ducto lumínico .....	73
<b>Fig. 44</b>	Iluminación con ductos lumínicos.....	74
<b>Fig. 45</b>	Lightshelf con cielo despejado.....	75
<b>Fig. 46</b>	Lightshelf con cielo nublado.....	75
<b>Fig. 47</b>	Lightshelf con cielo despejado con película especular de alta reflectancia.....	76

<b>Fig. 48</b>	Lightshelf con cielo nublado con película especlar de alta reflectancia.....	76
<b>Fig. 49</b>	Lightshelf con cielo claro con película especlar de alta reflectancia en ambos lados .....	77
<b>Fig. 50</b>	<i>Lighshelf</i> con cielo nublado con película especlar .....	77
<b>Fig. 51</b>	Utilización en la fachada del <i>lightshelf</i> en oficinas.....	77
<b>Fig. 52</b>	Vista del interior de la oficina con el uso del <i>lightshelf</i> .....	77
<b>Fig. 53</b>	Detalles de los reflectores.....	78
<b>Fig. 54</b>	Posición del los reflectores.....	78
<b>Fig.55</b>	Diseño en las fachadas con la luz de los reflectores.....	79
<b>Fig. 56</b>	Cómo llega la luz al patio .....	79
<b>Fig. 57</b>	El interior de Mc Airport en Inglaterra con la utilización de <i>solar chandeliers</i> .....	80
<b>Fig. 58</b>	Fibra óptica.....	81
<b>Fig. 59</b>	Utilización de lentes cóncavos y convexos en la azotea del edificio London.....	82
<b>Fig. 60</b>	Vista del interior de la biblioteca de Mount Angel Abbey.....	83
<b>Fig. 61</b>	Vista del interior del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey.....	83
<b>Fig. 62</b>	Planta baja del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey.....	84
<b>Fig. 63</b>	Corte longitudinal del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey.....	84
<b>Fig. 64</b>	Sistemas de iluminación cenital. Aeropuerto de Stansted, Londres.....	85
<b>Fig. 65</b>	Fachada Principal Reichstag Berlin, Norman Foster.....	85
<b>Fig. 66</b>	El interior del Reichstag Berlín, Norman Foster .....	86
<b>Fig. 67</b>	El interior de la estructura de techo que contiene elementos de iluminación cenital del edificio Reichstag Berlin, NormanFoster.....	86
<b>Fig. 68</b>	Detalles de iluminación cenital del Reichstag Berlin, Norman Foster.....	86
<b>Fig. 69</b>	Iluminación cenital vista al interior del Menil Collection de Renzo Piano.....	87
<b>Fig. 70</b>	Iluminación cenital vista en corte longitudinal Museo.....	87
<b>Fig. 71</b>	Iluminación cenital cortes longitudinales del museo.....	88
<b>Fig. 72</b>	Proyecciones de la iluminación cenital en el museo.....	88
<b>Fig. 73</b>	Confort Visual por medio de ductos.....	89
<b>Fig. 74</b>	Distribución espacial de los ductos lumínicos.....	90



<b>Fig. 75</b>	Iluminación con ductos lumínicos en una bodega .....	90
<b>Fig. 76</b>	Utilización de ductos lumínicos en un gimnasio de duelo, Monterrey.....	91
<b>Fig. 77</b>	Se muestra la iluminación natural al interior a partir de los ductos lumínicos.....	93
<b>Fig. 78</b>	Los ductos solares captan y transportan la luz del sol hasta el aula sin ventanas situada bajo la cubierta del edificio .....	93
<b>Fig. 79</b>	Las cúpulas optimizan la captación del sol evitando un exceso de insolación .....	94
<b>Fig. 80</b>	Espaciamiento de ductos en el techo .....	94
<b>Fig. 81</b>	Interior del aula.....	95
<b>Fig. 82</b>	Corte longitudinal.....	92
<b>Fig. 83</b>	Parte interior del ducto reflector en la parte inferior.....	96
<b>Fig. 84</b>	Plaza Principal, ducto colocado a ras de piso.....	96
<b>Fig. 85</b>	Corte longitudinal del funcionamiento de ductos en un estacionamiento publico.....	96
<b>Fig. 86</b>	Detalle de la cúpula.....	97
<b>Fig. 87</b>	Iluminación en el pasillo.....	98
<b>Fig. 88</b>	Fachada principal y corte transversal al interior.....	98
<b>Fig. 89</b>	Corte longitudinal.....	99
<b>Fig. 90</b>	Detalle de la cubierta del lucernario .....	99
<b>Fig. 91</b>	Detalle de la cubierta del lucernario .....	100
<b>Fig. 92</b>	Detalle de la cubierta del lucernario.....	101
<b>Fig. 93</b>	Detalle de la cubierta del ducto lumínico en techos .....	101
<b>Fig. 94</b>	Detalle de la cubierta del ducto lumínico .....	102
<b>Fig. 95</b>	Detalle del ducto lumínico al interior del edificio .....	102
<b>Fig. 96</b>	Vista del interior de la cúpula del museo .....	103
<b>Fig. 97</b>	Corte de la cúpula de iluminación.....	103
<b>Fig. 98</b>	Difusor con reflectancia 99% .....	103
<b>Fig. 99</b>	Corte del Edificio a nivel de ductos .....	104
<b>Fig. 100</b>	Vista del ducto lumínico desde el Patio.....	104
<b>Fig. 101</b>	Ejemplo de ductos lumínicos al interior de una bodega .....	105
<b>Fig. 102</b>	Ejemplo de la distribución de ductos lumínicos en el techo.....	105

<b>Fig. 103</b>	Interior del gimnasio por la mañana.....	106
<b>Fig. 104</b>	Interior del gimnasio por la tarde .....	106
<b>Fig. 105</b>	Interior del gimnasio por la tarde 3pm.....	107

## **CAPITULO V**

### **CONDICIONES LUMÍNICAS**

<b>Fig. 106</b>	Condiciones lumínicas en México.....	108
<b>Fig. 107</b>	Cielo en México.....	110
<b>Fig. 108</b>	Cielo Cubierto.....	112
<b>Fig. 109</b>	Cielo Cubierto Uniforme.....	113
<b>Fig. 110</b>	Cielo Claro.....	113
<b>Fig. 111</b>	Parcialmente Despejado.....	116
<b>Fig. 112</b>	Cielo Nublado.....	117
<b>Fig. 113</b>	Cielo Artificial en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM Azc.....	119
<b>Fig. 114</b>	Cielo Artificial en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM Azcapotzalco.....	119
<b>Fig. 115</b>	Cielo artificial del centro de investigación Habitat y Energia de la FADU .....	120
<b>Fig. 116</b>	Estructura que conforma la luz que simula los niveles lumínicos de cielo artificial.....	120
<b>Fig. 117</b>	Cielo artificial Laboratory of Bartenbach Lichtlabor .....	121
<b>Fig. 118</b>	Cielo artificial Laboratory of Bartenbach Lichtlabor .....	121
<b>Fig. 119</b>	Cielo artificial de Multi lámparas con simulador de sol .....	122
<b>Fig. 120</b>	Nubosidad de la Ciudad de México en porcentajes al año .....	124
<b>Fig. 121</b>	Nubosidad de la Ciudad de México por días al mes y por meses .....	125
<b>Fig. 122</b>	Análisis de la nubosidad de la Ciudad de México por días al mes en porcentaje.....	127
<b>Fig. 123</b>	Insolación de la Ciudad de México por porcentaje.....	128

<b>Fig. 124</b>	Radiación de la Ciudad de México por porcentaje.....	128
-----------------	--	-----

## **CAPÍTULO VI CASO DE ESTUDIO:**

### **GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZC**

<b>Fig. 125</b>	Vista aérea de la UAM Azcapotzalco.....	131
<b>Fig. 126</b>	Edificio de Caso Estudio. Vista Aérea.....	132
<b>Fig. 127</b>	Fachada Principal del gimnasio orientación Norte.....	133
<b>Fig. 128</b>	Fachada Posterior del gimnasio orientación Sur.....	133
<b>Fig. 129</b>	Fachada lateral del gimnasio orientación este.....	134
<b>Fig. 130</b>	Fachada Principal del gimnasio orientación oeste .....	134
<b>Fig. 131</b>	Localización de las obstrucciones del edificio (1, 2,3 y 4).....	135
<b>Fig. 132</b>	Perspectiva Fachada Oeste.....	136
<b>Fig. 133</b>	Vista de obstrucciones vegetales frente a la fachada Oeste.....	136
<b>Fig. 134</b>	Fachada Principal.....	136
<b>Fig. 135</b>	Se observa el edificio de dos pisos de altura en la parte de enfrente. ....	136
<b>Fig. 136</b>	Fachada este no tiene obstrucciones vegetales.....	137
<b>Fig. 137</b>	La obstrucción solida es el edificio de 5 pisos frente a la fachada este. ....	137
<b>Fig. 138</b>	Fachada Sur no tiene obstrucciones significativas. ....	137
<b>Fig. 139</b>	Las obstrucciones no afectan al proyecto. ....	137
<b>Fig. 140</b>	Planta Arquitectónica del Gimnasio UAM Azcapotzalco.....	138
<b>Fig. 141</b>	Fachada Principal Gimnasio UAM Azcapotzalco .....	139
<b>Fig. 142</b>	Fachada Principal del Edificio Real .....	139
<b>Fig. 143</b>	Corte longitudinal Gimnasio UAM Azcapotzalco.....	140
<b>Fig. 144</b>	Vista interior del edificio real en corte longitudinal.....	140
<b>Fig. 145</b>	Corte longitudinal del edificio real. ....	141
<b>Fig. 146</b>	Planta arquitectónica del gimnasio con las 50 luminarias marcadas.....	143
<b>Fig. 147</b>	Vista al interior con las 50 luminarias encendidas durante el día dentro del gimnasio. ....	144
<b>Fig. 148</b>	Dimensiones y Normas aplicadas a canchas de básquetbol.....	145

## CAPÍTULO VII

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

<b>Fig. 149</b>	Valoración lumínica al interior del gimnasio. ....	148
<b>Fig. 150</b>	Descripción de los problemas generales lumínicos del Gimnasio.....	149
<b>Fig. 151</b>	Fachada exterior del gimnasio con la luz artificial prendida. ....	151
<b>Fig. 152</b>	Detalle de las luminarias prendidas durante el día. ....	151
<b>Fig. 153</b>	Luminarias del Gimnasio encendidas 50 piezas.....	151
<b>Fig. 154</b>	Grafica del Cálculo del Consumo de energía por hora, día y semana. ....	152
<b>Fig. 155</b>	Grafica del Cálculo del Consumo de energía por mes.....	153
<b>Fig. 156</b>	Grafica del Cálculo del Consumo de energía anual ....	153
<b>Fig. 157</b>	El interior del gimnasio. Observa el deslumbramiento y el área de ventana. ....	154
<b>Fig. 158</b>	Retícula propuesta para la toma de mediciones en el Edificio Real. ....	159
<b>Fig. 159</b>	Retícula de 3x 3 puesta en el gimnasio con estambre rojo. ....	160
<b>Fig. 160</b>	Condición 1, medición.....	164
<b>Fig. 161</b>	Condición 1, Factor de día ....	165
<b>Fig. 162</b>	Condición 2, medición.....	166
<b>Fig. 163</b>	Condición 2, Factor de día.....	167
<b>Fig. 164</b>	Condición 3, medición.....	168
<b>Fig. 165</b>	Condición 4, medición ....	169
<b>Fig. 166</b>	Condición 4, factor de día.....	170
<b>Fig. 167</b>	Condición 5, medición.....	171
<b>Fig. 168</b>	Condición 5, factor de día.....	172
<b>Fig. 169</b>	Condición 6, medición.....	173
<b>Fig. 170</b>	Condición 6, factor de día.....	174
<b>Fig. 171</b>	Modelo Tridimensional. ....	180
<b>Fig. 172</b>	Modelo tridimensional estructura del gimnasio ....	181
<b>Fig. 173</b>	Modelo tridimensional estructura del gimnasio. ....	181
<b>Fig. 174</b>	Modelo tridimensional estructura del gimnasio ....	182

<b>Fig. 175</b>	Modelo tridimensional vista al interior vista lateral. ....	183
<b>Fig. 176</b>	Modelo tridimensional vista al interior.....	183
<b>Fig. 177</b>	Edificio real vista al interior. ....	184
<b>Fig. 178</b>	Edificio Real vista al interior.....	184
<b>Fig. 179</b>	Maqueta del gimnasio escala 1:20 .....	186
<b>Fig. 180</b>	Funcionamiento de las aberturas para la toma de mediciones.....	187
<b>Fig. 181</b>	Funcionamiento de las aberturas para la toma de mediciones .....	187
<b>Fig. 182</b>	Toma de mediciones dentro del modelo tridimensional.....	188
<b>Fig. 183</b>	Luxómetro rango 0 a 200,000 lux .....	188
<b>Fig. 184</b>	Luxómetro rango de 0 a 200,000 lux .....	188
<b>Fig. 185</b>	Planta con los puntos de la matriz del modelo a escala.....	189
<b>Fig. 186</b>	Condición 7, mediciones.....	193
<b>Fig. 187</b>	Condición 7, factor de día. ....	194
<b>Fig. 188</b>	Condición 8, mediciones.....	195
<b>Fig. 189</b>	Condición 8, factor de día. ....	196
<b>Fig. 190</b>	Condición 9, mediciones .....	197
<b>Fig. 191</b>	Condición 9, factor de de día .....	198
<b>Fig. 192</b>	Condición 10, mediciones .....	199
<b>Fig. 193</b>	Condición 10, factor de día.....	200
<b>Fig. 194</b>	Comparación lumínica del edificio Caso de Estudio contra el edificio en modelo tridimensional .....	204

## **CAPÍTULO VIII**

### **SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

<b>Fig. 195</b>	Diagrama de variables .....	207
<b>Fig. 196</b>	Grafica para estimar los niveles de iluminación en las superficies con la utilización de ductos lumínicos .....	211
<b>Fig. 197</b>	La relación de la iluminación de una superficie de trabajo con respecto al área del suelo .....	212
<b>Fig. 198</b>	La relación de la iluminación de una superficie de trabajo con respecto al área del suelo.....	212

<b>Fig. 199</b>	Techo de diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3m.....	213
<b>Fig. 200</b>	Techo de diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3m.....	213
<b>Fig. 201</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.....	214
<b>Fig. 202</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 45cm, vista interior.....	214
<b>Fig. 203</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.....	214
<b>Fig. 204</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.....	214
<b>Fig. 205</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.....	215
<b>Fig. 206</b>	Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.....	215
<b>Fig. 207</b>	Luxómetro rango 0 a 200,000 lux.....	216
<b>Fig. 208</b>	Luxómetro rango de 0 a 200,000 lux.....	216
<b>Fig. 209</b>	Planta del modelo tridimensional con los puntos de medición.....	217
<b>Fig. 210</b>	Condición 11, mediciones.....	226
<b>Fig. 211</b>	Condición 11, coeficiente de transmitancia de los materiales .....	227
<b>Fig. 212</b>	Condición 11, con factor de día.....	228
<b>Fig. 213</b>	Condición 12, mediciones.....	229
<b>Fig. 214</b>	Condición 12, coeficiente de transmitancia de los materiales.....	230
<b>Fig. 215</b>	Condición 12, con Factor de Día.....	231
<b>Fig. 216</b>	Condición 13, comparativo.....	232
<b>Fig. 217</b>	Condición 14, mediciones.....	233
<b>Fig. 218</b>	Condición 14, coeficiente de transmitancia de los materiales .....	234
<b>Fig. 219</b>	Condición 14, con Factor de Día.....	235
<b>Fig. 220</b>	Condición 15, mediciones.....	236
<b>Fig. 221</b>	Condición 15, aplicando coeficiente de transmitancia .....	237
<b>Fig. 222</b>	Condición 15, con Factor de Día.....	238
<b>Fig. 223</b>	Condición 16, mediciones .....	239
<b>Fig. 224</b>	Condición 17, aplicando coeficiente de transmitancia .....	240
<b>Fig. 225</b>	Condición 17, con Factor de Día. ....	241
<b>Fig. 226</b>	Condición 18, mediciones .....	242
<b>Fig. 227</b>	Condición 18, aplicando coeficiente de transmitancia .....	243
<b>Fig. 228</b>	Condición 18, con Factor de Día. ....	244
<b>Fig. 229</b>	Condición 19, comparativo .....	245
<b>Fig. 230</b>	Condición 20, mediciones.....	246



<b>Fig. 231</b>	Condición 20, aplicando coeficiente de transmitancia.....	247
<b>Fig. 232</b>	Condición 20, con Factor de Día.....	248
<b>Fig. 233</b>	Condición 21, mediciones.....	249
<b>Fig. 234</b>	Condición 21, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	250
<b>Fig. 235</b>	Condición 21, con Factor de Día.....	251
<b>Fig. 236</b>	Condición 22, mediciones.....	252
<b>Fig. 237</b>	Condición 22, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	253
<b>Fig. 238</b>	Condición 22, con Factor de Día. ....	254
<b>Fig. 239</b>	Condición 23, mediciones.....	255
<b>Fig. 240</b>	Condición 23, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	256
<b>Fig. 241</b>	Condición 23, con Factor de Día. ....	257
<b>Fig. 242</b>	Condición 24, mediciones.....	258
<b>Fig. 243</b>	Condición 24, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	259
<b>Fig. 244</b>	Condición 24, con Factor de Día. ....	260
<b>Fig. 245</b>	Condición 25, mediciones .....	261
<b>Fig. 246</b>	Condición 25, aplicando el coeficiente de transmitancia.....	262
<b>Fig. 247</b>	Condición 25, con Factor de Día. ....	263
<b>Fig. 248</b>	Condición 26, mediciones .....	264
<b>Fig. 249</b>	Condición 26, aplicando el coeficiente de transmitancia.....	265
<b>Fig. 250</b>	Condición 26, con Factor de Día. ....	266
<b>Fig. 251</b>	Condición 27, mediciones .....	267
<b>Fig. 252</b>	Condición 27, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	268
<b>Fig. 253</b>	Condición 27, con Factor de Día. ....	269
<b>Fig. 254</b>	Condición 28, mediciones .....	270
<b>Fig. 255</b>	Condición 28, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	271
<b>Fig. 256</b>	Condición 28, con Factor de Día. ....	272
<b>Fig. 257</b>	Condición 29, mediciones.....	273
<b>Fig. 258</b>	Condición 29, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	274
<b>Fig. 259</b>	Condición 29, con Factor de Día.....	275
<b>Fig. 260</b>	El GNOMON a las 9. A.M .....	278
<b>Fig. 261</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	278
<b>Fig. 262</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	278

<b>Fig. 263</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	278
<b>Fig. 264</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	278
<b>Fig. 265</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	278
<b>Fig. 266</b>	El GNOMON a las 12. A.M.....	279
<b>Fig. 267</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	279
<b>Fig. 268</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	279
<b>Fig. 269</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	279
<b>Fig. 270</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	279
<b>Fig. 271</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	279
<b>Fig. 272</b>	El GNOMON a las 9. AM.....	280
<b>Fig. 273</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	280
<b>Fig. 274</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	280
<b>Fig. 275</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala .....	280
<b>Fig. 276</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	280
<b>Fig. 277</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	280
<b>Fig. 278</b>	El GNOMON a las 9. AM.....	281
<b>Fig. 279</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	281
<b>Fig. 280</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	281
<b>Fig. 281</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	281
<b>Fig. 282</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	281
<b>Fig. 283</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	281
<b>Fig. 284</b>	El GNOMON a las 12. A.M. 22 de Junio .....	282
<b>Fig. 285</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	282
<b>Fig. 286</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	282
<b>Fig. 287</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	282
<b>Fig. 288</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	282
<b>Fig. 289</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.....	282
<b>Fig. 290</b>	El GNOMON a las 3. AM 22 de Junio.....	283
<b>Fig. 291</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M .....	283
<b>Fig. 292</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M .....	283
<b>Fig. 293</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	283
<b>Fig. 294</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	283

<b>Fig. 295</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	283
<b>Fig. 296</b>	El GNOMON a las 9. A.M.....	284
<b>Fig. 297</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	284
<b>Fig. 298</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	284
<b>Fig. 299</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	284
<b>Fig. 300</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	284
<b>Fig. 301</b>	Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.....	284
<b>Fig. 302</b>	El GNOMON a las 12. A.M.....	285
<b>Fig. 303</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 AM.....	285
<b>Fig. 304</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 AM.....	285
<b>Fig. 305</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 AM.....	285
<b>Fig. 306</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 AM.....	285
<b>Fig. 307</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 AM.....	285
<b>Fig. 308</b>	El GNOMON a las 3:00 P.M.....	286
<b>Fig. 309</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M .....	286
<b>Fig. 310</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	286
<b>Fig. 311</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	286
<b>Fig. 312</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	286
<b>Fig. 313</b>	Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.....	286
<b>Fig. 314</b>	GNOMON el 21 de Marzo.....	287
<b>Fig. 315</b>	GNOMON el 22 de Junio.....	288
<b>Fig. 316</b>	Condición 30, mediciones.....	294
<b>Fig. 317</b>	Condición 30, aplicando el coeficiente de trasmittancia .....	295
<b>Fig. 318</b>	Condición 30, con factor de Día.....	296
<b>Fig. 319</b>	Condición 31, mediciones.....	297
<b>Fig. 320</b>	Condición 31 aplicando el coeficiente de trasmittancia .....	298
<b>Fig. 321</b>	Condición 31, con factor de día.....	299
<b>Fig. 322</b>	Condición 32, monitoreo.....	300
<b>Fig. 323</b>	Condición 32 aplicando el coeficiente de trasmittancia .....	301
<b>Fig. 324</b>	Condición 32, con factor de día.....	302
<b>Fig. 325</b>	Condición 33 .....	303
<b>Fig. 326</b>	Condición 33 coeficiente de trasmittancia del los .....	304

<b>Fig. 327</b>	Condición 33 Modelo con factor de día .....	305
<b>Fig. 328</b>	Condición 34, monitores.....	306
<b>Fig. 329</b>	Condición 34 aplicando el coeficiente de transmitancia .....	307
<b>Fig. 330</b>	Condición 34, con factor de día.....	308
<b>Fig. 331</b>	Condición 35, mediciones .....	309
<b>Fig. 332</b>	Condición 35 aplicando el coeficiente de transmitancia .....	310
<b>Fig. 333</b>	Condición 35 con factor de día.....	311
<b>Fig. 334</b>	Condición 36, mediciones.....	312
<b>Fig. 335</b>	Condición 36 aplicando el coeficiente de transmitancia .....	313
<b>Fig. 336</b>	Condición 36 con factor de día .....	314
<b>Fig. 337</b>	Condición 37, mediciones.....	315
<b>Fig. 338</b>	Condición 37, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	316
<b>Fig. 339</b>	Condición 37, con factor de día .....	317
<b>Fig. 340</b>	Condición 38 monitoreo.....	318
<b>Fig. 341</b>	Condición 38, aplicando el coeficiente de transmitancia .....	319
<b>Fig. 342</b>	Condición 38, con factor de Día.....	320
<b>Fig. 343</b>	Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.....	321
<b>Fig. 344</b>	Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro .....	321
<b>Fig. 345</b>	Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.....	322
<b>Fig. 346</b>	Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.....	322
<b>Fig. 347</b>	Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.....	323
<b>Fig. 348</b>	Proyección del rayo de luz al interior de modelo tridimensional al interior .....	324
<b>Fig. 349</b>	Proyección del rayo de luz al interior de modelo tridimensional al interior.....	324
<b>Fig. 350</b>	Distribución de la luz .....	324
<b>Fig. 351</b>	Proyección de luz.....	324

<b>Fig. 352</b>	Secuencia del comportamiento lumínico al interior del ducto con la aplicación de un rayo laser .....	325
<b>Fig. 353</b>	Comportamiento del haz de luz al interior del ducto .....	326
<b>Fig. 354</b>	Múltiples interrelaciones al interior del ducto lumínico .....	326

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabla 1</b>	Nivel de Iluminación ( <i>lux</i> ) recomendado según esfuerzo visual.....	20
<b>Tabla 2</b>	Relación máxima recomendable de contraste según variables .....	20
<b>Tabla 3</b>	Parámetros Lumínicos.....	27
<b>Tabla 4</b>	Niveles de Iluminación en función del uso al que este destinado .....	32
<b>Tabla 5</b>	Recomendaciones de relaciones de iluminancias entre un objeto y su entorno.....	34
<b>Tabla 6</b>	Niveles de iluminación recomendados por estándares nacionales e internacionales para un gimnasio .....	36
<b>Tabla 7</b>	Relación entre la Temperatura de color y el ambiente producido .....	48
<b>Tabla 8</b>	Índice de rendimiento de color por fuente lumínica.....	50

### CAPÍTULO V

<b>Tabla 9</b>	Clasificación de cielos en relación a la iluminancia que producen .....	110
<b>Tabla 10</b>	Niveles de Iluminancia directa, indirecta y difusa. Varios autores.....	111
<b>Tabla 11</b>	Parámetros de nubosidad.....	124
<b>Tabla 12</b>	Análisis de nubosidad de la Ciudad de México.....	125
<b>Tabla 13</b>	Insolación anual .....	127
<b>Tabla 14</b>	Radiación solar anual.....	128

### CAPÍTULO VI

<b>Tabla 15</b>	Valores lumínicos al interior del gimnasio de duela .....	146
-----------------	---	-----

## **CAPÍTULO VII**

<b>Tabla 16</b>	Estimación de Consumo de Energía Eléctrica.....	152
<b>Tabla 17</b>	Valores de reflectancia de los materiales, en el edificio del gimnasio.....	156
<b>Tabla 18</b>	Valores de transmitancia de los vidrios en el edificio del gimnasio de la UAM .....	157
<b>Tabla 19</b>	Mediciones realizadas en el Edificio Real .....	161
<b>Tabla 20</b>	Condiciones de evaluación lumínica en modelo tridimensional.....	190

## **CAPÍTULO VIII**

<b>Tabla 21</b>	Alternativas de diseño en base a una matriz de relación matemática.....	208
<b>Tabla 22</b>	Variables en los techos 1 y 2.....	209
<b>Tabla 23</b>	Variables con diámetros y material al interior de los ductos.....	212
<b>Tabla 24</b>	De la condición 11 a la condición 29.....	218
<b>Tabla 25</b>	Características del Diseño del ducto lumínico. ....	279
<b>Tabla 26</b>	Condiciones lumínicas de la alternativa de diseño aplicadas al modelo tridimensional.....	298

## ÍNDICE DE FORMULAS

### CAPÍTULO III

<b>Fórmula 1</b>	$Cd = lm/sr$ .....	29
<b>Fórmula 2</b>	$E = 4.7l / 4.7 d^2 = 1 / d^2$ .....	30
<b>Fórmula 3</b>	$E\beta = E_n \times \cos \beta$ .....	31
<b>Fórmula 4</b>	$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_n$ .....	31
<b>Fórmula 5</b>	$FIN= DL = (EI/Ee) \times 100$ .....	41
<b>Fórmula 6</b>	$DF= SC + ERC + IRC$ .....	42
<b>Fórmula 7</b>	$r+ a + t = 1$ .....	52
<b>Fórmula 8</b>	$p = Fr / Fi$ .....	53
<b>Fórmula 9</b>	$Fu=Imin/Imax$ .....	55
<b>Fórmula 10</b>	$Kf= E1/E2 (100)$ .....	56
<b>Fórmula 11</b>	$Kfd = Eld / Elc \cdot Kfc$ .....	57
<b>Fórmula 12</b>	$Tnn = Lin/Lout$ .....	58
<b>Fórmula 13</b>	$thh = lin/lout$ .....	58

### CAPÍTULO IV

<b>Fórmula 14</b>	$L = Lz (1+2 \sin )^3$ .....	112
<b>Fórmula 15</b>	$Eh= \pi L$ .....	113
<b>Fórmula 16</b>	$La = Enr (\pi) / T$ .....	115

### CAPÍTULO VII

<b>Fórmula 17</b>	$R=Lr / Li$ .....	156
-------------------	-------------------	-----

### CAPÍTULO VIII

<b>Fórmula 18</b>	$E = (F.Fd / h) 0.4$ .....	211
-------------------	----------------------------	-----



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Desde las primeras edificaciones del hombre, el manejo de la luz natural ha jugado un papel importante en la arquitectura. Hasta antes del surgimiento de los sistemas de iluminación eléctrica a principios del siglo XX, la única fuente de luz disponible en la arquitectura fue la luz natural y de esta manera surgieron ejemplos muy notables de edificios de diversos géneros en la historia de la arquitectura, aprovechando el potencial de la luz natural. Uno de los más significativos por su utilización de iluminación natural cenital es el Pantheon, en Roma ( 25.a C) ver figura de capítulo I.

En la actualidad, en el diseño y construcción de la mayoría de los edificios se ha ignorado el potencial de la luz natural y se ha abusado del uso de sistemas de alumbrado artificial, situación que ha provocado un desperdicio innecesario de energía y un severo daño al medio ambiente, debido a la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Desde el punto de vista de la iluminación, los edificios en la actualidad deben ofrecer condiciones de confort lumínico para sus ocupantes, aprovechando al máximo la luz natural e integrando sistemas de energía eléctrica con alta eficiencia energética, y obtener ahorro de energía.

La aplicación de sistemas lumínicos de alta eficiencia se basa en el aprovechamiento de la componente directa de la radiación solar, particularmente en aquellas regiones climáticas donde predominantemente se presentan condiciones de cielo despejado durante la mayor parte del tiempo. Estos sistemas basan su funcionamiento en la captación de la componente lumínica directa de la radiación solar y su re-direccionamiento por medio de múltiples inter-reflexiones en diversos elementos

y partes de estos sistemas, hasta introducir la luz natural al interior de las edificaciones en condiciones favorables para que los ocupantes realicen sus múltiples actividades y tareas visuales con condiciones de confort lumínico, al mismo tiempo que se obtienen importantes ahorros de energía eléctrica.

## **1.2. Planteamiento**

En esta investigación se presenta un caso de estudio de un edificio de género deportivo, que se caracteriza por un consumo de energía elevado y por una excesiva dependencia de sistemas de alumbrado eléctrico, que a su vez provocan una alta emisión de contaminantes al medio ambiente. Se plantean diversas estrategias para el óptimo aprovechamiento de la luz natural, con base en la implementación de sistemas lumínicos innovadores de alta eficiencia, las cuales están enfocadas a proporcionar niveles de iluminancia adecuados, de acuerdo a lo que especifican los estándares internacionales en condiciones óptimas de confort lumínico.

## **1.3. Objetivo General**

Investigar el comportamiento de sistemas lumínicos de alta eficiencia y su nivel de aplicabilidad en las edificaciones, para lograr confort lumínico y sustentabilidad energética.

### **1.3.1. Objetivo específico**

Estudiar los sistemas lumínicos de alta eficiencia que permitan el confort lumínico de los ocupantes y el ahorro de energía.

#### **1.4. Hipótesis**

“Si se emplean sistemas lumínicos de alta eficiencia natural, se puede incrementar los niveles de iluminancia en el edificio y ahorrar energía eléctrica y obtener condiciones de confort lumínico al interior de las edificaciones.”

Es posible mejorar las condiciones de confort lumínico y reducir el consumo de energía en edificaciones con el aprovechamiento de la luz solar directa con base en la aplicación de sistemas lumínicos de alta eficiencia natural, en edificaciones de género deportivo.

#### **1.5. Motivación para Elaborar la Investigación**

La investigación está orientada hacia el mejoramiento de la iluminación al interior del edificio, dentro de los requerimientos establecidos por la normatividad para espacios deportivos, que permitan al usuario la utilización de la luz natural durante el día, y la iluminación eléctrica por las noches como una alternativa de diseño que puede contribuir al confort lumínico de los ocupantes y un ahorro importante de energía eléctrica así como una disminución de la emisión de contaminantes a la atmósfera.

#### **1.6. Procedimiento**

En esta investigación se plantean diversas estrategias para el óptimo aprovechamiento de la luz natural, con base en la implementación de sistemas lumínicos innovadores de alta eficiencia, las cuales están enfocadas a proporcionar niveles de iluminancia adecuados, de acuerdo a lo que especifican los estándares internacionales en el edificio del caso de estudio y condiciones óptimas de confort lumínico. Se construyó un modelo físico tridimensional, de acuerdo a las características físicas del edificio real, para evaluar las estrategias lumínicas propuestas y los resultados obtenidos se aplicarán para reducir el consumo de energía eléctrica y

proporcionar condiciones de confort lumínico a los ocupantes, tanto espectadores como jugadores de la edificación deportiva investigada.

## **1.7. Síntesis del Desarrollo de la Investigación**

La presente investigación se desarrolló de la siguiente manera:

**EL CAPÍTULO I** es la introducción de la investigación de una manera breve, dando un marco general del desarrollo del contenido a través de los IX capítulos que contiene este documento. En este capítulo se plantea la hipótesis, el objetivo general y el objetivo específico, que se marca como el alcance de la investigación.

**EL CAPÍTULO II** se titula El Sol como Fuente de Luz Natural, se plantea la utilización del sol como alternativa de iluminación natural, en donde se describen las características físicas del sol, como es el espectro electromagnético de la luz, las coordenadas solares, la descripción del comportamiento lumínico durante los equinoccios y solsticios. Se describen las ventajas de la utilización de la iluminación natural al interior del edificio con respecto a la incidencia lumínica, así como los beneficios de la utilización del sol para el usuario.

**EL CAPÍTULO III** se desarrolla el Marco Teórico, donde se define el uso de la energía en los edificios desde el punto de vista del confort lumínico mediante el estudio de los parámetros lumínicos, a través de la relación de la iluminación, con el uso de los espacios. Se investigaron los niveles de iluminación recomendados por estándares Nacionales e Internacionales para el estudio del comportamiento lumínico, así como la aplicación del factor de día, que determina la relación entre la iluminancia interior en un punto específico con respecto a la exterior simultáneamente considerando reflexiones del sol con respecto al cielo concepto que se aplicara en el análisis de las mediciones. Se analizaron las componentes del color en la iluminación, como es temperatura de color y el rendimiento de color. Cabe mencionar la clasificación de algunos de los

Métodos de Predicción de Iluminación como son los métodos matemáticos, los métodos físicos y los métodos computacionales.

**EL CAPÍTULO IV** se refiere al Estado del Arte, de los Sistemas Lumínicos de Alta Eficiencia Energética, donde se hace referencia a los sistemas para el control de la luz natural por múltiples inter-reflexiones, se refiere a sistemas innovadores para el aprovechamiento de la componente lumínica directa de la radiación solar, mediante la captación y distribución a partir de de diferentes sistemas, conformados con materiales de alta reflectancia, permitiendo la distribución lumínica al interior de un espacio adecuada durante el día, con un impacto en el ahorro de energía significativo. Los sistemas son Ductos lumínicos, repisas de luz, sistemas de seguimiento solar, Paneles prismáticos Fibra óptica entre otros. Parte del estado del arte se definió en la utilización de los sistemas de control de iluminación natural cenital de alta eficiencia como son los ductos lumínicos donde se analizan ejemplos representativos de obras construidos con este sistema.

**EL CAPÍTULO V** trata las Condiciones Lumínicas donde se realizó un análisis de los diferentes tipos de cielos que están estandarizados por el CIE, para el estudio del comportamiento lumínico utilizado en la toma de mediciones de los datos del modelo físico y tridimensional. Se definieron los tipos de cielos que son: cielo cubierto, cielo uniforme, cielo claro, cielo nublado, y cielo artificial. Se realizó un análisis de las condiciones lumínicas de la ciudad de México, en cuanto a los datos del observatorio para obtener el número de días de insolación y nubosidad en promedio al año.

**EL CAPÍTULO VI Caso de Estudio:** Gimnasio Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. La edificación analizada en la presente investigación es de género deportivo, se ubica en la Ciudad de México, en la delegación de Azcapotzalco. Se describen las características generales del edificio con respecto a su ubicación y orientación, determinando las obstrucciones del edificio en su contexto. Se definieron las dimensiones y áreas al interior y exterior de forma arquitectónica. La justificación

del caso de estudio, se determino mediante la observación de la falta de niveles mínimos de iluminación que se establecen por normatividad internacional y nacional al interior de las instalaciones del gimnasio, por el alto consumo de energía eléctrica que este edificio representa.

**EL CAPÍTULO VII** presenta la Metodología experimental, utilizada en la presente investigación la cual se baso en el método científico para el estudio de la iluminación natural cenital a partir de sistemas de iluminación de alta eficiencia energética, aplicado al caso de estudio del Gimnasio de la UAM Azcapotzalco. La metodología de investigación de este trabajo consto de las siguientes etapas: Realización de un diagnóstico lumínico y energético del edificio real mediante un monitoreo de la condición 1 a la condición 6. La construcción de un modelo físico tridimensional del edificio real, mediante la realización de la calibración del modelo físico para comprobar sus leyes de semejanza con el edificio real mediante el monitoreo de la condición 7 a la condición 10, y a partir del análisis e interpretación de resultados se realizo un análisis de comprobación del edificio de caso de estudio y el modelo tridimensional.

**EL CAPÍTULO VIII.** Selección de Alternativas de Diseño, se realizó un proceso metodológico para la selección de alternativas que consto de cuatro fases como la determinación de las variables de diseño en la aplicación del caso de estudio, la viabilidad del comportamiento de diseño, la evaluación de las alternativas de diseño que se plantearon mediante una matriz de distribución de variables que determinan el funcionamiento del sistema las cuales son el diámetro del ducto, el material utilizado al interior de reflectancia blanca o especular, el tipo de cielo despejado o nublado, la geometría del ducto, y la distribución espacial. El planteamiento de alternativas de ductos lumínicos y de sus variables de diseño se dio mediante la evaluación del comportamiento lumínico de las alternativas de la condición 11 a la condición 29. Se profundizo el estudio de la alternativa con mejor funcionamiento lumínico a partir del estudio del comportamiento lumínico mediante el Gnomon, realizando mediciones en equinoccios y solsticios a las 9:00 am, 12:00 pm y 3:00 pm para tener el

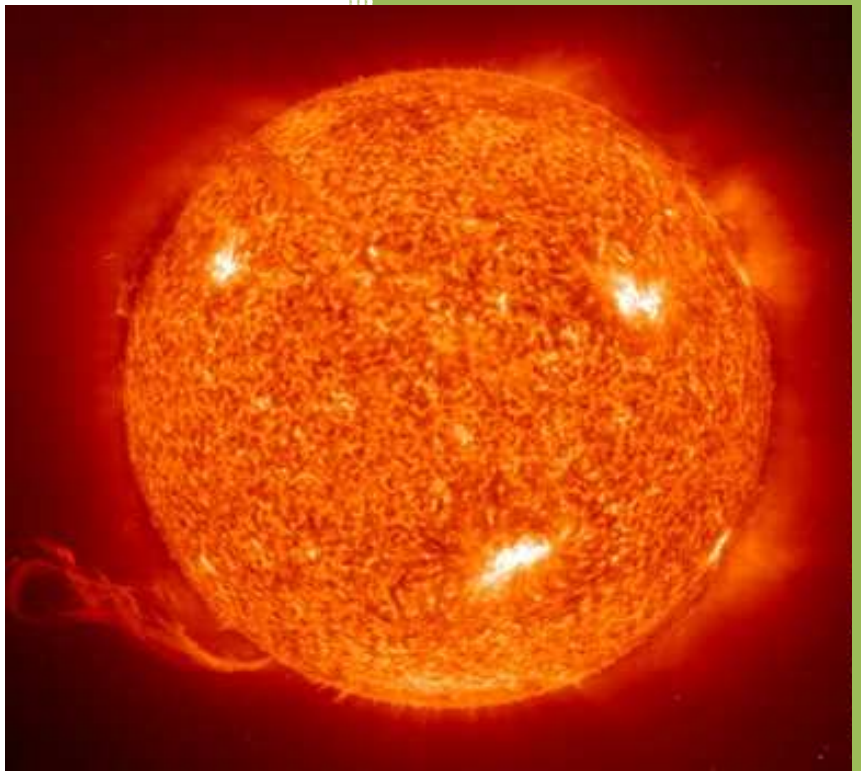
comportamiento lumínico anual de estas variables de diseño. Se utilizó un sistema de rayo láser como herramienta para comprobar la direccionalidad de la luz sobre las diferentes superficies y su efecto de múltiples interreflexiones.

**EL CAPÍTULO IX** presenta las conclusiones del estudio de la eficiencia lumínica que se obtuvo con la aplicación del diseño de las variables de los ductos lumínicos a un proyecto de género deportivo, mediante el uso de la iluminación natural como una alternativa de sustentabilidad energética por el impacto, en el ahorro de energía e hidrocarburos al medio ambiente, esto representará para el usuario mejores condiciones de confort lumínico.



## CAPÍTULO II

# EL SOL COMO FUENTE DE LUZ NATURAL



## CAPÍTULO II

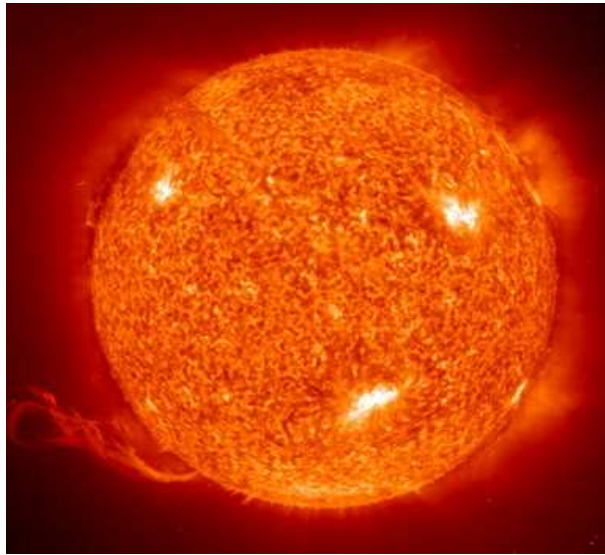
### EL SOL COMO FUENTE DE LUZ NATURAL

#### 2.1. La Utilización del Sol como Alternativa de Iluminación

El sol determina las características esenciales de la luz natural disponible en el transcurso de los días y sus cambios estacionales, así como los cambios que ocurren durante cada día. Estas características dependen del movimiento de la tierra y del ángulo relativo entre los ejes de los dos cuerpos. En cuanto a la luz natural, influyen la localización geográfica y el ángulo de la superficie iluminada con respecto al ángulo de incidencia del rayo solar.

El Sol es la estrella más cercana a nuestro planeta. Tiene una edad estimada de 5,000 millones de años y se considera que se encuentra en su etapa de vida media. Es una esfera gaseosa formada principalmente por hidrógeno y helio. En su núcleo ocurren reacciones de fusión termonuclear de una gran magnitud, en condiciones extremas de temperatura y presión, al transformarse 564 millones de toneladas de hidrógeno en 560 millones de toneladas de helio; de este modo se disipan enormes torrentes de energía hacia el espacio en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia, en diferentes longitudes de onda. Los valores de iluminancia del sol en un horizonte no obstruido pueden variar de 0 a 120,000 *lux*, dependiendo principalmente de la altitud del sol, de la nubosidad y del nivel de contaminación ambiental.

La temperatura de color correlacionada con el sol directo es cerca de 3000K cuando el Sol está próximo al horizonte, y de 5800K cuando el Sol está próximo al cenit. Por otra parte, la eficiencia luminosa (*lm/W*) de la luz solar depende de la altitud solar: su valor comienza en cero en el horizonte y su uniformidad se incrementa a partir de los 20°, por encima de este ángulo su valor es entre 105 y 120 *lm/W* dependiendo de localización geográfica (Fig.1).



**Fig.1** El sol fuente de luz natural

Del total de la energía solar interceptada por la Tierra, incluida la atmósfera, el 35% es reflejado nuevamente hacia el espacio exterior por medio de las nubes y de las partículas suspendidas en la atmósfera. La radiación solar atraviesa, durante el día, los elementos que componen la atmósfera y la extensión de ésta: cuando el Sol está en el cenit, la radiación solar viaja a través de una menor “cantidad”<sup>1</sup> de atmósfera en su ruta hacia la Tierra; a medida que el Sol se acerca al horizonte, la ruta de la radiación solar es más extensa dado que es mayor la longitud de la atmósfera: viaja a través de una mayor cantidad de aire. De esta manera, cuanto mayor sea la atmósfera o masa de aire que la radiación solar debe atravesar en relación a un punto dado de la superficie terrestre, menor será su contenido de energía, debido a la mayor absorción y dispersión de la atmósfera.

---

<sup>1</sup> También puede decirse “longitud”; sin embargo, puesto que esta tesis expone la luz solar como fuente de iluminación, “cantidad” expresa de manera más clara el sentido de materia atravesada por dicha luz solar.

## 2.2. Espectro Electromagnético de la Luz.

La luz visible es sólo una parte del espectro electromagnético: es el rango de ondas que son detectables para el ojo humano. Se determina dentro del rango de los rayos ultra violetas (*UV*) y del otro lado por los rayos infrarrojos (*IR*). (Fig.2)

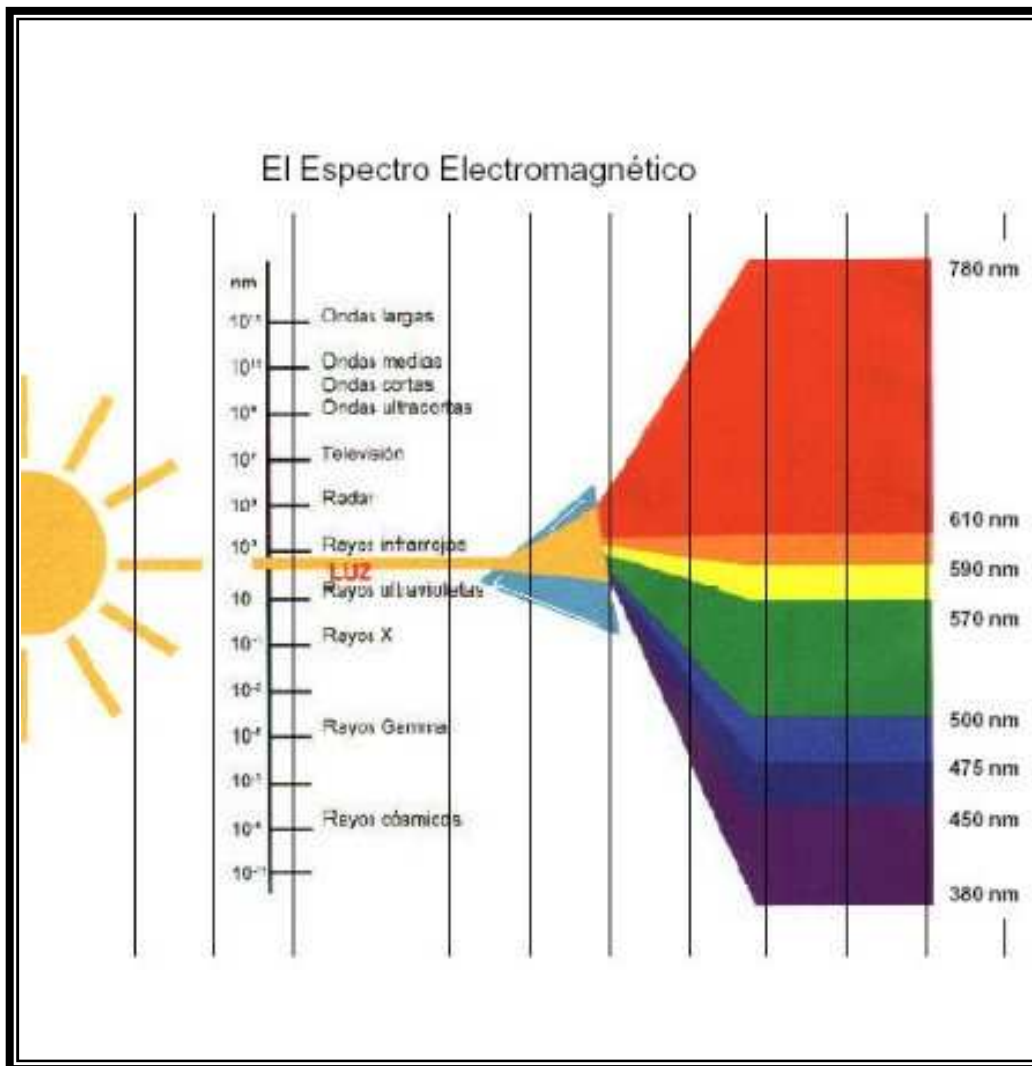
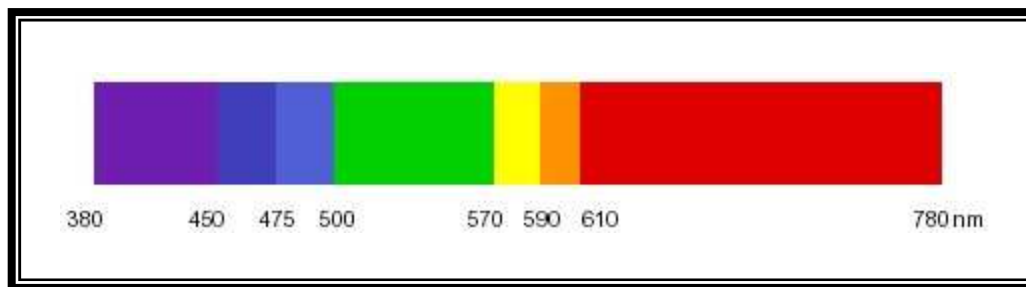


Fig. 2 Espectro Electromagnético

El Sol emite sus rayos electromagnéticos con una intensidad media de  $1.35 \text{KW/m}^2$  que es igual a  $1350 \text{ W/m}^2$  fuera de la atmósfera conocida como la “constante solar”. Los rayos disponibles en la superficie de la tierra, que dependen de la composición atmosférica al atravesarla, son absorbidos y reflejados por las moléculas del aire en todas las direcciones.

Dentro del Espectro Electromagnético, la luz visible se localiza en la banda de los 380 a 780nm. (Fig. 3)



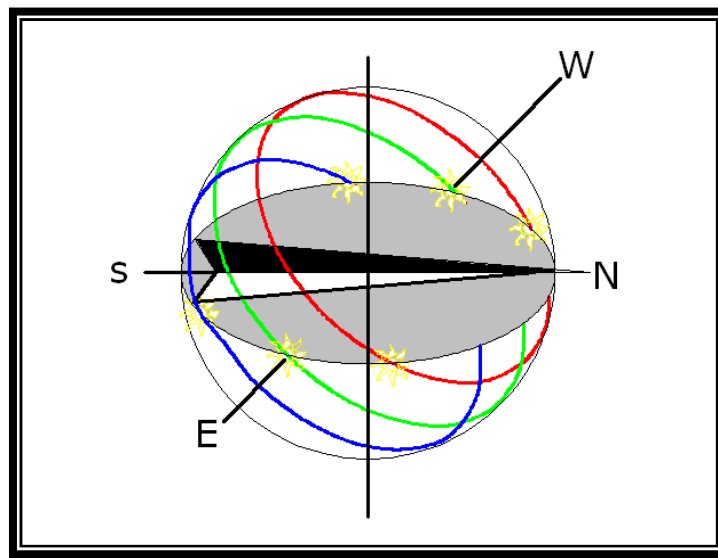
**Fig.3 El Espectro de la Luz Visible**

Después de que la radiación llega a la superficie de la tierra, debe de interactuar con la atmósfera donde algunas cantidades significativas son absorbidas o reflejadas. La interacción es complicada y depende estrechamente de las condiciones atmosféricas; cuando hay cielo nublado se refleja una gran proporción de radiación respecto a la reflejada durante un cielo despejado.

### **2.3. Coordenadas Solares Principales.**

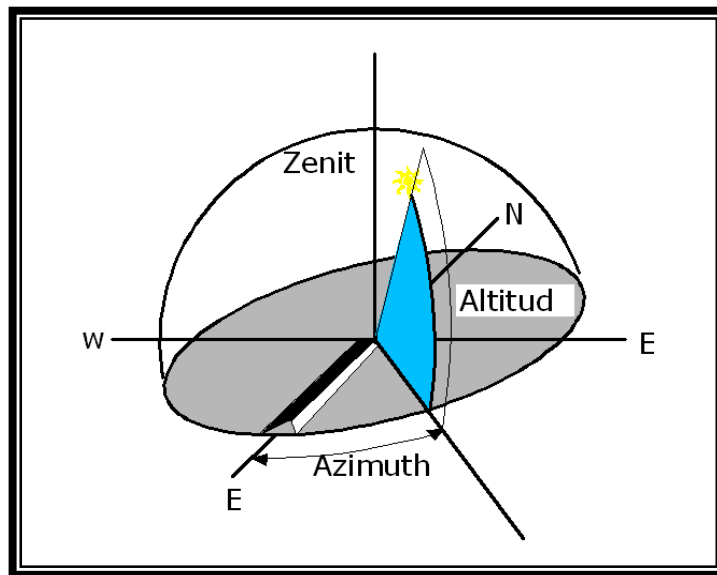
La República Mexicana, que se encuentra en una latitud promedio de  $24^\circ$  al Norte del ecuador terrestre, recibe los rayos solares perpendicularmente el 21 de junio. En esta fecha ocurre en el hemisferio norte el solsticio de verano, mientras que en el hemisferio sur ocurre el solsticio de invierno. Las líneas imaginarias que pasan por los lugares donde ocurren estos acontecimientos se llaman Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, en los hemisferios norte y sur respectivamente. El mayor número de horas

de luz diurna es experimentado el 21 de junio en el hemisferio norte y el 21 de diciembre en el hemisferio sur. El menor número de horas de luz diurna se presenta el 21 de diciembre en el hemisferio norte y el 21 de junio en el hemisferio sur. Existen dos momentos durante los cuales los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el ecuador, es decir con una declinación de  $0^\circ$ . El primero sucede el 21 de marzo y se denomina equinoccio de primavera, mientras que el segundo se presenta el 23 de septiembre y se llamada equinoccio de otoño. (Fig. 4)



**Fig. 4** La línea roja representa el hemisferio norte, la línea azul el hemisferio sur y la línea verde el ecuador

El asoleamiento está caracterizado por la trayectoria del Sol, así como por la duración del asoleamiento. Las condiciones geométricas del sistema Tierra-Sol determinan la posición relativa del Sol, que está señalado por su azimuth y por el cenit, el punto vertical más alto de la bóveda celeste. (Fig. 5)



**Fig. 5.** Diagrama de Azimut y el Zenit

El azimut es el ángulo horizontal formado por un plano vertical pasando por el Sol, en el plano meridiano del punto de observación, también llamado “altura angular del Sol. Altitud, es el ángulo que tiene la dirección del Sol con el plano del horizonte.

La energía proveniente del Sol es la fuente primaria de calor y luz en la Tierra. La acción del Sol en la Tierra trae beneficios al hombre desde los puntos de vista térmico, económico, higiénico y psicológico.

En la arquitectura, la *localización*, *orientación* y *forma* de un edificio deben de analizarse cuidadosamente para obtener el máximo provecho de estos fenómenos para obtener un ahorro energético significativo en el proyecto. El control de la radiación solar es el factor más importante, desde el punto de vista lumínico: los rayos solares deben de penetrar y ser absorbidos en las edificaciones cuando se requiere y ser rechazados cuando resultan indeseables. Un diseño óptimo de alta eficiencia energética para el aprovechamiento de la iluminación natural reduciría los consumos de energía en las edificaciones. El Sol, con su componente lumínico, afecta de este modo la distribución y orientación de los espacios interiores, así como el tamaño, geometría, y localización de las aberturas en los edificios.

## 2.4. Ventajas de la Utilización de la Iluminación Natural

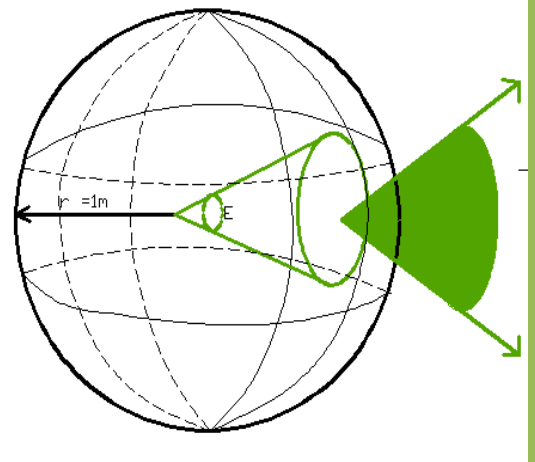
Las principales ventajas de la iluminación natural se presentan a continuación:

- **Ahorro de energía.** Un Diseño apropiado con base en el uso de la luz natural y cumpliendo los requerimientos de iluminación en espacios interiores de edificios donde se realicen diversas tareas visuales tiene un potencial de ahorro en energía eléctrica en edificios de uso predominantemente diurno.
- **Fuente de energía renovable.** La iluminación natural es proporcionada por la energía radiante del Sol, en forma directa a través de la bóveda celeste. El aprovechamiento de la luz natural en la arquitectura puede coadyuvar al mejoramiento del medio ambiente natural.
- **El factor Psicológico** del ser humano a partir de la percepción. La percepción humana cambia continuamente a lo largo del día y durante los meses del año. En este sentido, es importante destacar que la visión humana esta desarrollada de manera que muestra cierta adaptación a las características de la luz natural y de sus cambios.
- **El Factor Salud.** La luz solar es necesaria para la vida de todos los seres vivos en el planeta por la asimilación o vitaminización, realizada a nivel celular si dicha luz se recibe en los espacios en que se desarrolla el ser humano.



# CAPÍTULO III

## MARCO TEÓRICO



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Uso de la Energía en los Edificios.

Desde mediados del siglo XX existía un interés creciente en temas que relacionaban la arquitectura con la energía. La crisis del petróleo en 1973 impulsó el inicio sistemático de políticas de ahorro de energía en algunos países.

En un principio, se buscó reducir el consumo de energía en los edificios (iluminación interior) aún sin valorar los efectos de confort y salud de los ocupantes. Se buscó el incremento de niveles de aislamiento de la envolvente del edificio y el control lumínico a partir de la utilización de la iluminación natural.

A partir de los años '80, se comenzó a identificar y estudiar las consecuencias negativas en la salud de los ocupantes debido a muchas de las regulaciones que se dieron. Nació el concepto de *Sick Building Syndrome*<sup>2</sup>: se encontraron ciertas relaciones entre el edificio y las enfermedades, así como los estados de ánimo de los ocupantes. Se volvió a tomar conciencia de la importancia de la arquitectura en la protección de los usuarios, buscando proveer de ambientes confortables y sanos.

En la década de los '90 se llegó a la conclusión de que en la búsqueda del confort no se puede desasociar la conservación de la energía en el control del ambiente al interior y exterior. A partir de esta evidencia y debido a la presión posterior que significó la necesidad de cumplir con protocolos internacionales como el de Kyoto (1997), que obliga a los países industrializados a reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub>, se incrementó el

---

<sup>2</sup> *Sick Building Syndrome*, SBS, en español Síndrome del Edificio Enfermo, es un tecnicismo utilizado durante los años '80 para la denominación de los edificios que no contaban con requerimientos mínimos de confort y los efectos en la salud de los ocupantes.

interés por la búsqueda de la integración de los conceptos en la arquitectura tales como “Sistemas Pasivos” de calentamiento, de enfriamiento e iluminación, entre otros.

La presente investigación está enfocada al ahorro de energía, a partir de la utilización de sistemas de alta eficiencia en iluminación natural para obtener además condiciones de confort lumínico para los ocupantes de en sus edificios.

### **3.2. Confort Lumínico.**

El nivel de confort visual se ha alcanzado cuando se tiene la capacidad de distinguir de manera cómoda y sin esfuerzo los objetivos que se desean observar en un espacio arquitectónico. La iluminación asociada al confort visual se entiende a partir de los conceptos de deslumbramiento y contraste, fenómenos ligados estrechamente a la forma en que se ilumina un espacio y al nivel de iluminación del mismo. Se resalta una vez más la subjetividad del concepto según las capacidades de percepción de cada individuo y la importancia de apreciar el fenómeno en su distribución espacial y temporal (Evans, 1980).

En primer lugar, se identifican las variables ambientales relacionadas a la cantidad, distribución y características de la luz. Es común la asociación que se hace de la iluminación de manera exclusiva a la iluminancia<sup>3</sup>. De hecho, esta variable de cantidad es fundamental para tener una primera caracterización del espacio visual, pero variables como su propia distribución, el contraste y el color de la luz, asociadas a la calidad visual, terminan estando tan ligadas o más al concepto de confort que el de la propia iluminancia.

---

<sup>3</sup> Iluminancia: es un índice representativo de la densidad del flujo luminoso sobre una superficie, se define en el apartado 3.4.3.

La calidad visual se basa en una buena iluminación, garantizando al usuario la realización de sus actividades de la manera más eficaz y cómoda posible. El resultado visual deseado está determinado por el trabajo a desarrollar y depende de los niveles de claridad de la superficie en que se trabaja, así como del contraste de luminancia<sup>4</sup> entre el objeto observado y el área de trabajo.

Las diferentes recomendaciones de valores mínimos de iluminancia (*lux*) se presentan en función de la actividad a desarrollar. Estos valores han variado con el tiempo. Algunos estudios consideraban en 1910 diez *lux* suficientes para la actividad de la lectura, bajo ciertas características. En 1930, se consideraban 180 *lux* como mínimo; en 1950 se consideraban 300 *lux* los indispensables; para 1972 se había llegado a 1500 *lux*<sup>5</sup>.

En los años '80 se recomendó que la iluminancia en oficinas fuese entre 500 y 2000 *lux*. A diferencia de EE.UU. los estándares en Europa han exigido generalmente una menor iluminancia.

En el 2000 existen fuentes que recomiendan, según sea su función, diversos rangos de iluminación a partir de las actividades a realizarse en los espacios a iluminar. Sobresalen por sus especificaciones, las tablas de la **British Standards Institution** (BSI)<sup>6</sup> y las de la **Comisión Internacional de l'Eclairage** (CIE).<sup>7</sup>

Así, como valores generales recomendados en el 2005, que consideran el esfuerzo visual (**Tabla 1**) de las actividades de los ocupantes.

---

<sup>4</sup> Luminancia: es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie proyectada sobre el plano perpendicularmente a la dirección de radiación. Se define en el apartado 3.4.4

<sup>5</sup> Lux: es el flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie

<sup>6</sup> **British Standards Institution** (BSI), organización Inglesa que determina estándares de iluminación internacionales se describen los lineamientos en el apartado

<sup>7</sup> **Comisión Internacional de l'Eclairage** (CIE), organización internacional que determina estándares de iluminación se describen los lineamientos en el apartado, tiene su sede en Francia, España entre otros.

Esfuerzo Visual	Lux recomendados
Muy alto	1000
Alto o muy alto de corta duración	750
Medio o alto de poca duración	500
Bajo o medio de poca duración	250

**Tabla 1** Nivel de Iluminación (*lux*) recomendado según esfuerzo visual.

Se considera tanto a la iluminación como a las características del material (color, textura) y la incidencia de la luz, que determinan en principio las luminancias de los objetos. Lo que percibimos está limitado principalmente por el tamaño del detalle y por el contraste, como son las diferencias de luminancias que existen con el área de trabajo (Serra, 1995).

### 3.2.1. Diferencias de Luminancias

Cuando las diferentes superficies del campo de visión son generalmente entre el área de trabajo y el segundo plano presentan excesivas diferencias en su luminancia ( $Cd/m^2$ ), el ojo humano, al procurar adaptarse a ellas, termina agotándose. A pesar de que resulta complicado valorar los límites del contraste, existen aproximaciones que suelen girar sobre parámetros similares como el que se presenta (Tabla 2) la Comisión Europea (James, 1995).

Variables	Proporción
Área de trabajo / alrededores oscuros	3:1
Área de trabajo / superficie oscuras alejadas	10:1
Fuentes de luz / alrededores	20:1
Contraste máximo (salvo en casos decorativos)	40:1
Sobre iluminar objetos para darles énfasis	50:1

**Tabla 2** Relación máxima recomendable de contraste de luminancias de superficies según variables

Se considera como **estado óptimo** una misma luminancia entre la superficie de trabajo y el segundo plano, aunque esto en principio podría generar problemas en cuanto a la identificación de las formas y la lejanía de los objetos, según el tipo de iluminación o la existencia de sombras. La textura y colores de las superficies así como la distribución de la luz con respecto al campo de visión se relacionan con este punto.

Se identifican tanto el diseño de las fuentes de luz, como son ventanas, ductos lumínico y luminarias, y el de las formas y superficies de los objetos, como los elementos claves a considerar en el manejo del fenómeno del contraste (Coch, 1998).

Cuando se termina generando un contraste excesivo se toman en cuenta factores como el tiempo de exposición y la actividad, dando como resultado un efecto al que se le considera también un parámetro de control visual.

### **3.3. Deslumbramiento y Contraste**

#### **3.3.1. Deslumbramiento**

El deslumbramiento este definido por la CIE:

*“Como la condición de la visión en la que existe discomfort o una reducción en la capacidad de ver objetos o detalles, causados por una incomoda distribución o rango de luminancia o de contrastes externos”. (Comisión Internacional d’Eclairage, 2006)*

El deslumbramiento es un fenómeno complejo en donde toman parte varios factores distribuidos espacial y temporalmente. Como valor referencial se identifica que, por encima de  $500 \text{ cd/m}^2$ , en condiciones de iluminancia natural, un objeto deslumbra al observador.

Se advierte que la relación de luminancia<sup>8</sup> a partir de valores de entre 100/1 a 1000/1 genera deslumbramiento. El fenómeno es aún más complejo: tiene que ver además con el campo de visión, la posición de las fuentes de luz y si tiene relación frente a la luminancia del resto de los objetos.

En este punto, destaca la importancia del campo de visión de las personas en su relación con la posición de la fuente de luz, sabiendo que el primero está limitado en el plano vertical con un ángulo de 60°, con respecto a la lineal visual o eje de visión. Se resalta en este sentido el valor de la iluminación cenital, dependiendo de la activada que se desarrolle al interior del ambiente. Se valora igualmente la posición de la fuente de luz, considerando que difícilmente existirá deslumbramiento cuando el ángulo entre el eje de visión y el centro de la fuente de luz resulte mayor a 50°, en el plano vertical.

Un aspecto importante para tomar en cuenta la posibilidad de que ocurra una situación de deslumbramiento es considerar, a partir de la ubicación de la fuente de luz, el posible ingreso de radiación directa sobre ciertos objetos interiores que puedan deslumbrar por si mismos. Es posible prescindir de la existencia de los posibles reflejos no deseados en otras superficies; esto estaría propiciado tanto por la ubicación e inclinación, como por la capacidad de reflexión de dichas superficies.

Cuando se habla de **deslumbramiento** se hace referencia a uno de los factores que afectan el sentido de visión, al dificultar o impedir la adecuada percepción dentro del campo visual, debido a un elevado contraste entre la luminosidad de una superficie y su contorno (Muñoz, Gregorio y Barrau, 1998). Un problema que la mayor parte de las veces es generado por una incorrecta iluminación, y puede ser de dos tipos:

- El primero tiene que ver con reflejos luminosos o luz directa, que llega los ojos provocando ciertas limitaciones visuales.

---

<sup>8</sup> La relación de luminancia se determina a partir de la medición de la luminancia del origen o fuente luminosa/ Luminancia del fondo o campo visual

- El segundo puede ser fácilmente corregido o controlado con el diseño.

En ciertos casos, da una falsa sensación de normalidad, ya que se produce debido a un exceso de contraste entre los diferentes objetos o bien por niveles lumínicos muy bajos. En este caso, los problemas generados están relacionados con una relación de la agudeza visual y con el cansancio de la vista como se observa en la (Fig. 6).



**Fig.6.** Galería de Arte, en Buenos Aires.

Los tipos de deslumbramiento son:

- **Deslumbramiento directo:** causado por las luces situadas dentro del campo de visión. Las lámparas que quedan dentro del campo de visión, deberán tener pantallas difusoras.
- **Deslumbramiento reflejado:** Proveniente del reflejo de las fuentes de luz sobre superficies especulares en dirección al ojo, por la coloración y el acabado de las distintas superficies reflectantes y en la distribución de las fuentes de luz directas.



- **Deslumbramiento de velo:** Producto de la dispersión de la luz en las pequeñas partículas que pueden estar en el medio ambiente. Para evitarlo, se atenderá la coloración de la luz, prefiriendo tonalidades de onda larga.

El tipo más común de deslumbramiento es el reflejado, porque se trata de los reflejos de las lámparas, ventanas —por la incidencia solar— u otras superficies brillantes.

Existen cinco factores específicos y determinantes del deslumbramiento:

- **El brillo de la fuente:** Cuanto mayor sea éste, mayor será la molestia y la interferencia con la visión.
- **El tamaño de la fuente:** Un área muy extensa de luz de bajo brillo, puede deslumbrar como un área pequeña de alto brillo.
- **Posición de la fuente de luz:** El deslumbramiento disminuye rápidamente a medida que la fuente de luz se aparta de la línea del campo de visión.
- **Contraste de brillo:** Cuanto mayor es el contraste de brillo entre la fuente de luz que deslumbre y sus alrededores, mayor será el efecto del deslumbramiento.
- **Tiempo:** Una exposición a la luz puede no ser molesta durante un período corto de tiempo, pero sí serlo si éste es prolongado.

La calidad del color de la luz revelará el contraste y el deslumbramiento aún más en la iluminación natural, debido a sus características de composición espectral. El ojo humano se ha acostumbrado desde siempre a la distribución del espectro completo que brinda la luz natural y de las variaciones de luz solar y del cielo, además de la identificación de las variables del momento del día en relación al color de dicha luz.

### 3.3.2. Contraste

Este parámetro está muy interrelacionado con el deslumbramiento, ya que los dos tienen que ver con el brillo del objeto y el del fondo.

**El contraste** es necesario para poder distinguir los objetos del entorno, siendo una relación entre el brillo del objeto y el brillo de su fondo. Se puede afirmar que a mayor contraste, menor será el tiempo necesario para poder distinguir el objeto, al tiempo que la percepción será la mejor. Esta afirmación tiene su base en el diseño, ya que si se generan contrastes demasiados elevados entre las diferentes superficies se puede caer en el deslumbramiento. Se compara la misma habitación, pero con diseño de ventana diferente, donde se identifican tanto el diseño de las fuentes de luz de las aberturas, como el de las formas y superficies de los objetos, elementos claves a considerar en el manejo del fenómeno del contraste. (Coch, 1998)

El diseño de la ventana en cuanto a forma determina la cantidad de contraste que una habitación tiene con respecto a su entrada de luz. Es decir, la cantidad de luz incidente es determinada a partir del brillo producido por la reflectancia de los materiales utilizados en la habitación; esto permite reflejar óptimamente la luz natural al interior de la habitación.

A mayor abertura en el diseño de ventana se produce un mayor contraste, produciendo un deslumbramiento al usuario (**Fig.7**). A menor abertura en el diseño de ventana se produce un menor contraste, sin producir el efecto de deslumbramiento en la habitación (**Fig. 8**).



**Fig. 7.** El contraste es mayor y la ventana es de mayores dimensiones.


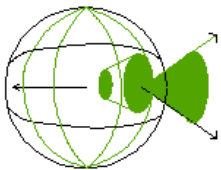
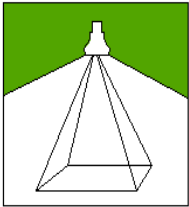
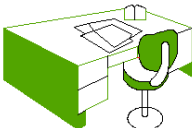


**Fig. 8.** El contraste es menor, la ventana es de menores dimensiones.

Para disminuir el contraste en la pared de enfrente, junto con las partes de las paredes laterales, el techo y fachada del edificio de enfrente, hacen un fondo excesivamente oscuro dando un contraste mayor en la parte de las ventanas.

### 3.4. Parámetros Lumínicos

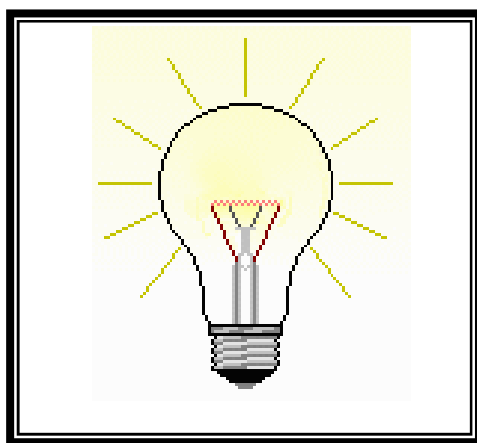
En el estudio de la iluminación es importante determinar los conceptos básicos a partir de parámetros lumínicos que nos permiten conocer el comportamiento lumínico tomando con base las unidades y fórmulas empleadas en la realización de cálculos lumínicos ya sean en iluminación natural o artificial (**Tabla 3**).

Parámetros Lumínicos				
Magnitud	Símbolo	Unidad	Definición de la unidad	Representación Grafica
<b>Flujo Luminoso</b>	F	LUMEN ( <i>lm</i> )	Flujo luminoso de la radiación monocromática de frecuencia $540 \times 10^{12}$ Hertz y un flujo de energía radiante de $1/583$ Watts Cantidad de flujo emitido por una fuente en todas direcciones	
<b>Intensidad Luminosa</b>	I	CANDELA ( <i>cd</i> )	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo solido de un estereoradian.	
<b>Niveles de Iluminación o Iluminancia</b>	E	Lux ( <i>lx</i> )	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie	
<b>Luminancia</b>	L	CANDELA POR m <sup>2</sup> CANDELA POR cm <sup>2</sup>	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie	

**Tabla 3.** Parámetros Lumínicos

### 3.4.1. Flujo Luminoso

Da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del espacio. Sin embargo, objetos tales como un proyector iluminan en una dirección. Parece clara la necesidad de conocer cómo se distribuye el flujo (**Fig. 9**) en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.



**Fig.9** Flujo Luminoso

La intensidad luminosa se define como:

*“La cantidad de luz por unidad de tiempo. Es designado por  $F$ , y tiene como unidad el lumen ( $lm$ ).”* (Pupoo, 1971)

El flujo luminoso describe la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz. Básicamente se podría expresar esta potencia de radiación, por ser energía, en la unidad llamada vatio. Sin embargo, el efecto óptico de una fuente de luz no es descrito adecuadamente de esta manera, ya que la radiación es captada sin diferenciación alguna en toda la banda de frecuencias, y porque no tiene en cuenta la sensibilidad espectral variable del ojo. Mediante la consideración de la sensibilidad espectral del ojo se obtiene la magnitud llamada lumen. Un flujo de radiación de  $1\text{ W}$ , entregado en la sensibilidad espectral máxima del ojo es de  $555\text{ nm}$ , y genera un flujo luminoso de  $683\text{ lm}$ .

### 3.4.2. Intensidad Luminosa (I)

Se entiende como la cantidad de luz que puede emitir una fuente en una determinada dirección. Suele ser medida a razón de 1 lumen y su unidad de medida es la candela (Cd). (Fig. 10)

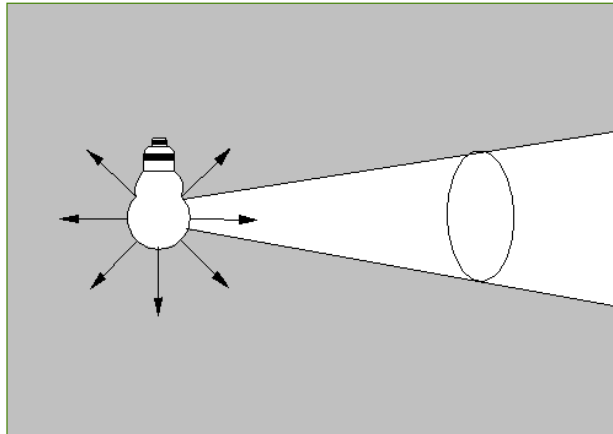


Fig. 10. Intensidad Luminosa

y se calcula de la siguiente manera:

$$Cd = lm/sr. ....(Fórmula 1)$$

Se registra en la unidad de ángulo sólido en el que la superficie abarcada en una esfera es igual al cuadrado del radio.

### 3.4.3. La Iluminancia (E)

La iluminancia se interpreta como el nivel de iluminación de un espacio aunque en realidad se trata de la cantidad de luz o flujo luminoso ( $lm$ ) que incide sobre un cuerpo. Expresa la cantidad conocida como **lux**, según el sistema internacional de unidades. Como parámetro de confort sirve para determinar o indicar el nivel lumínico adecuado para un espacio según el tipo de actividad que allí se desarrolla.

Se define como :

*“El flujo luminoso que llega a una superficie determinada, se designa por  $E$  y tiene como unidad el lux ( $lx = lm/m^2$ ).” (Jimenez,1998)*

La iluminancia es un índice representativo de la densidad del flujo luminoso sobre una superficie, es decir, la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el tamaño de esta superficie. A su vez la iluminancia no se encuentra vinculada a una superficie real, puede ser determinada en cualquier lugar del espacio. La iluminancia se puede deducir de la intensidad luminosa. Al mismo tiempo disminuye la iluminancia con el cuadrado de la distancia de la fuente de luz; representada con la Ley del Inverso al Cuadrado de la Distancia:

Donde:

$$E = 4.7 / r^2 \quad r^2 = 1 / r^2 \dots \dots \dots \text{(Fórmula 2)}$$

$E$ =iluminancia

$I$ = candela

$r^2$ =radio al cuadrado

Se define como una fuente de  $I$  candelas que emite un flujo total de  $4.7I$  lumen. A una distancia ( $d$ ) este flujo se distribuirá sobre una esfera de radio  $r$ , es decir en una superficie de  $4.7r^2$  (Fig.11).

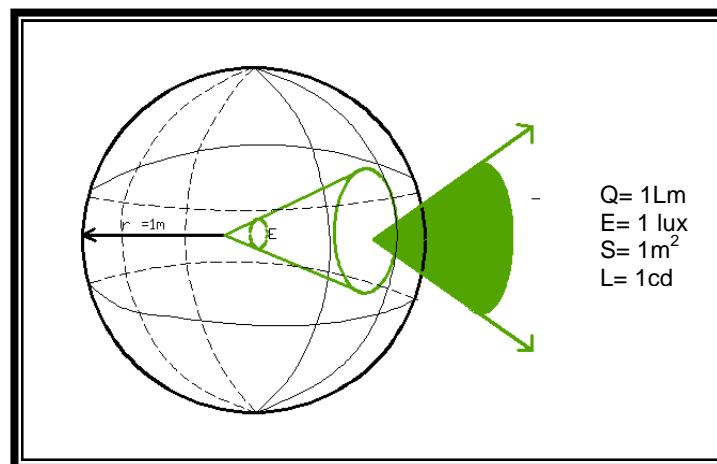


Fig. 11. Esquema de la Ley de la Inversa al Cuadrado

Se aplica cuando el plano iluminado es normal (perpendicular) a la dirección de la luz. Es decir, cuando el ángulo de incidencia  $\beta = 0^\circ$ . Cuando el plano está inclinado, el mismo flujo se distribuye en una superficie mayor, por lo que la iluminancia se reduce. La reducción es proporcional al coseno del ángulo de incidencia:

$$E_\beta = E_n \times \cos \beta \dots\dots\dots (Fórmula 3)$$

donde:

$E_n$  = iluminancia sobre el plano normal

$E_\beta$  = iluminancia sobre el plano inclinado  $\beta$  grados

$\beta$  = ángulo de incidencia

La iluminancia total de una superficie proviene de la suma de iluminancias de varias fuentes (Fig.12):

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_n \dots\dots\dots (Fórmula 4)$$

donde:

$E$  = Iluminancia total

$E_1$  = Iluminancia 1

$E_2$  = iluminancia 2

$E_3$  = Iluminancia 3

$E_n$  = Iluminancias sucesivas

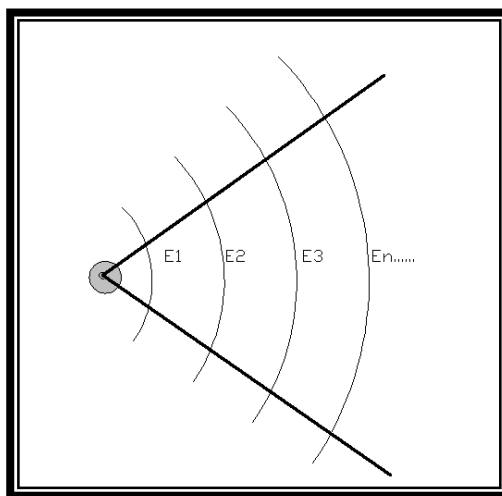


Fig. 12 Suma de las Iluminancias de una superficie



Si la iluminancia producida de la fuente lineal infinita se reduce en proporción directa a la distancia y no al cuadrado de la distancia, de cómo resultado una superficie luminosa infinitamente grande la iluminación sin variación con respecto a la distancia.

Conocer los niveles de iluminancia en un espacio resulta vital si se quiere evaluar las condiciones actuales del mismo, así como establecer los requerimientos para poder ejecutar acciones que permitan mejorar las condiciones de trabajo o desarrollo de ciertas actividades (Tabla 4).

Iluminación en Función del Uso	Niveles
Vestíbulos de viviendas, pasillos, cuarto de baño, garajes y almacenes.	100 lux
Escaleras, cocinas, dormitorios, cuarto de estar, biblioteca, vestíbulos de locales públicos, archivos, museos y áreas de trabajo de poca precisión.	200 lux
Comedores, salones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, <b>gimnasios</b> y áreas de precisión media.	300 lux
Establecimientos comerciales, salas de conferencias, aulas laboratorios y áreas de lectura.	500 lux
Sala de dibujo, escaparates y zonas de trabajo de precisión.	750 lux

**Tabla 4 Niveles de Iluminación en función del uso al que este destinado**

**Fuente:** Norma Técnica de las Edificaciones NTE-QLC/ 1973, España

Para la evaluación de las condiciones actuales se han desarrollado una serie de estándares y especificaciones internacionales con los niveles de iluminación aconsejables y las condiciones óptimas subjetivas y cualitativas para el usuario según la actividad a desarrollar y el espacio donde se ejecutan las tareas.

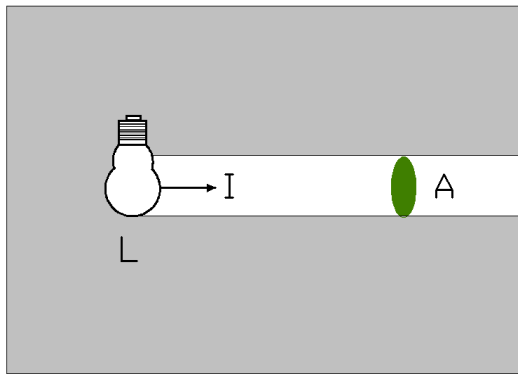
### 3.4.4. Luminancia (L)

Se refiere a la intensidad de luz emitida por una superficie en una dirección determinada. Esta la percibe el ojo humano a diferencia de la iluminancia y la intensidad de luz.

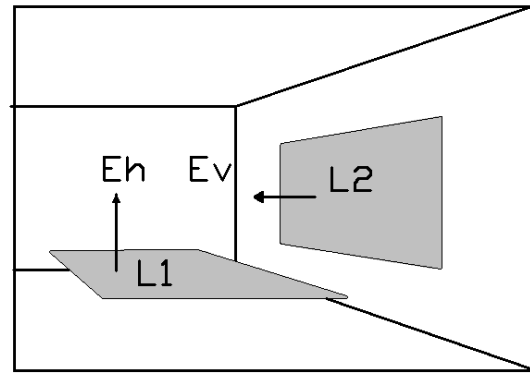
Se define como :

*“Indicador de la claridad de una superficie emisora para un observador, designado por  $L$  tiene como unidad la candela/m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>).”*

(Strgman, 1986)



**Fig.13** Emisión de la luminancia



**Fig.14** Esquema de luminancia incidente en una superficie

La luminancia de una superficie resulta de la relación entre la intensidad luminosa y su superficie proyectada. (Figs. 13 y 14)

La luminancia puede ser directa, es decir, la cantidad de luz recibida desde la fuente de luz (lámparas, o bien el sol), e indirecta, es decir la cantidad de luz reflejada por una superficie (muros, techos, pisos) u objeto que es recibida.

La luminancia caracteriza el flujo lumínico que abarca una superficie de intensidad luminosa por el área aparente de esta superficie. Se expresa en candelas por m<sup>2</sup>

( $cd/m^2$ ). La luminancia de una superficie es tan importante como la claridad que recibe con respecto a su coeficiente de reflexión, que es cercano a uno (Tabla 5).

Relación de luminancia en el campo de Visión	
Objetos y entorno inmediato.	No mayor a 3:1 Ni menor a 1:3
Objetos y la superficie apoyo al trabajo.	1:5
Objetos y las otras superficies del área visualizada objeto y entorno.	1:10
Objeto y entorno lejano claro.	0.1:1
Objeto a cualquier objeto dentro del campo visual.	40:1
Objeto y entorno lejano oscuro.	No mayor 10:1 No menor 1:10

**Tabla 5.** Recomendaciones de relaciones de luminancias entre un objeto y su entorno

El factor dominante en la observación de un objeto es el contraste de luminancia o de colores entre este objeto y su entorno inmediato. En la iluminación natural, el deslumbramiento puede ser provocado por la vista directa al Sol, por una luminancia excesiva del cielo observado desde la ventana o por paredes que reflejan muy fuertemente la radiación solar y que provocan contrastes muy exagerados.

### 3.4.5. Luminosidad

La luz natural se compone de la suma de iluminancia proveniente del sol directo y la proveniente del cielo de forma difusa. (Fig. 15)



**Fig. 15** Luminosidad

La cantidad de luz disponible en un lugar varia a lo largo del día en función de la posición del Sol en la bóveda celeste, es decir en función del día del año y la hora del día. Los niveles de iluminación al interior de un espacio dependen fundamentalmente de la cantidad de luz disponible en el exterior.

### 3.5. Niveles de Iluminación Recomendados por Estándares Internacionales y Nacionales

En el caso de estudio abordado en la presente investigación, se toman en cuenta los niveles de iluminación recomendados por los estándares nacionales e internacionales. (Tabla 6)

Estándares Internacionales	Niveles de Iluminación Gimnasio	Estándares Nacionales	Niveles de Iluminación Gimnasio
CIE	200 lux	El Reglamento de Construcción	200 lux
IESNA	300 lux	IESNA México,	300 lux
CIBSE	300 lux	NOM- 007, NOM-025-STPS-1999	200 lux

**Tabla 6** Niveles de iluminación recomendados por estándares nacionales e internacionales para un gimnasio

#### 3.5.5. Estándares Internacionales

Los organismos **Internacionales** involucrados en temas de Iluminación son:

- La **CIE**: *Comisión International de l'Eclairge*<sup>9</sup>, rige la normatividad para cielo claro y despejado; se encarga del estudio de las nubes. Declaró el año de 1991 como el año internacional de la medición de la luz natural, estableciendo tres categorías de estaciones de medición de: iluminancia, radiación y recolección continua de la distribución de luminancia del cielo.

---

<sup>9</sup> CIE.<http://www.cie.co.at>

La CIE es una organización dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con el arte y la ciencia de la iluminación. Sus miembros son los Comités Nacionales de unos 40 países.

Sus objetivos son:

1. Proveer un foro internacional para la discusión de todas las materias relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación, y para el intercambio de información entre los países en esas materias.
  2. Desarrollar patrones básicos y procedimientos de predicción en el campo de la luz y la iluminación.
  3. Proveer directivas en la aplicación de principios y procedimientos en el desarrollo de normas nacionales e internacionales en el campo de la iluminación.
  4. Preparar y publicar normas, informes y otros textos relativos a las materias propias de la luz y la iluminación.
  5. Mantener una conexión y una interacción técnica con otras organizaciones internacionales relacionadas con las materias propias de la ciencia, la tecnología, la normalización y el arte en los campos de la luz y la iluminación.
- La **IESNA**: *Illuminating Engineering Society of North America*<sup>10</sup>, es una sociedad internacional reconocida en Norteamérica como la autoridad técnica en materia de iluminación.

Es un foro para el intercambio de ideas e información así como un medio para el reconocimiento y desarrollo profesional de sus miembros. A través de comités técnicos

---

<sup>10</sup> IESNA. [www.esna.org](http://www.esna.org)

integrados por cientos de profesionales calificados provenientes del medio de la iluminación y de los usuarios de la misma, coordina investigación, desarrollo y discusiones que guíen las prácticas profesionales utilizando recomendaciones lumínicas consensadas.

Es la autoridad técnica reconocida en iluminación. Durante más de 100 años su objetivo ha sido comunicar información sobre todos los aspectos prácticos de la iluminación a sus miembros, a la comunidad de la iluminación, y a los consumidores a través de una variedad de programas, publicaciones, y servicios. La Sociedad, además, trabaja cooperativamente con organizaciones relacionadas en una variedad de programas y en la producción de documentos publicados y normas técnicas.

- La **CIBSE**: *Chartered Institution of Building Services Engineers*<sup>11</sup>. Estandarización Británica. Es la institución que representa a los ingenieros que dan servicio técnico a los edificios formada en 1976.

Promueve la carrera de los “ingenieros técnicos del edificio” acreditando cursos de educación de alto nivel, programas de entrenamiento y el abastecimiento de rutas al registro profesional completo. Incorpora a ingenieros y técnicos. Una vez que califican el curso, CIBSE ofrece una gama de servicios, centrada en mantener y realzar la excelencia profesional a través de su carrera.

Por tanto, es el acreditador y la autoridad de estándares respecto a los servicios del edificio. Publica la dirección y los códigos que internacionalmente se reconocen como autoridad, y fija los criterios para la mejor práctica en la profesión. La institución habla para la profesión y así que es consultada por el gobierno en materias referentes la construcción, la ingeniería y sustentabilidad. Representa las organizaciones más importantes de la construcción y de la ingeniería en el Reino Unido, Europa y Estados unidos.

---

<sup>11</sup> CIBSE: [http:// www.cibse.org](http://www.cibse.org)

Como instituto, es uno de los pioneros en responder a la amenaza del cambio climático en los edificios; explican como casi el 50% de emisiones perjudiciales del carbón, y el diseño innovador de los servicios puede traer mejoras dramáticas en rendimiento energético. La Sociedad de la Luz y de la iluminación actúa como el cuerpo profesional de acreditación en el Reino Unido, si bien ya se mencionó influye en todo el mundo. Tiene más de 2000 miembros en el Reino Unido y por todo el mundo, en donde establecen estándares y parámetros lumínicos.

### **3.5.6. Estándares Nacionales**

- **El Reglamento de Construcción<sup>12</sup>:** Determina los lineamientos de construcción para cada Estado de la República Mexicana en donde se encuentran los requerimientos mínimos para las áreas a diseñar divididas por actividad.
- **IESNA México<sup>13</sup>:** miembro del IESNA internacional, colabora en la difusión de la cultura de la iluminación en nuestro país y apoya los foros en los cuales el tema de la iluminación tiene un papel relevante; en la Jornada Internacional de Iluminación, celebrada cada año con la participación de especialistas internacionales y la asistencia de la mayor parte de los profesionales mexicanos dedicados al diseño de Iluminación.

Existen también normas especializadas.

- **Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004<sup>14</sup>:** Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. (CONAE)

---

<sup>12</sup> Cf. reglamento de construcciones para el D.F. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/385.htm>

<sup>13</sup> <http://www.esnamexico.org>

<sup>14</sup> <http://www.conae.gob.mx/wrote/site/CONAE>



Tiene como finalidad establecer los niveles de eficiencia energética en términos de *densidad de potencia eléctrica para alumbrado* con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el objetivo de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y ecológicos, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.

- **NOM-025-STPS-1999<sup>15</sup>: condiciones de iluminación de los centros de trabajo.** Determina los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo al interior y exterior.

También tiene por objetivo establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades, mediante reconocimientos físicos de las instalaciones. El propósito del reconocimiento, es determinar las áreas y puestos de trabajo que cuenten con una deficiente iluminación o excesivo deslumbramiento, en todas las áreas del centro de trabajo.

---

<sup>15</sup> <http://stps.gob.mx/DGSST/normatividad/noms/NOM-025.pdf>

### 3.6. Factor de Día.

La relación entre la iluminancia interior en un punto específico y la iluminancia exterior simultánea sin considerar la contribución del sol directo. El IESNA<sup>16</sup> la define como **Factor de Día**:

*“Se describe a partir de la toma de la muestra al exterior de la iluminancia, sin considerar el sol directo en el sensor, sobre la muestra al interior de la iluminancia; se miden en porcentaje para dar la cantidad de luz natural existente en una habitación” (IES, 2005).*

Para expresar la cantidad de luz que llega al plano de trabajo interior de un espacio ( $E_i$ ), debido a que esta depende directamente de la iluminación exterior ( $E_e$ ), se suele utilizar esta medida **relativa** que se le denomina Factor de Día (*Daylighting Factor*, DL), según la siguiente ecuación:

$$FIN= DL = (E_i/E_e) \times 100 \dots\dots\dots \text{(Fórmula 5)}$$

en donde:

**FIN** = Factores de Iluminación Natural

**DL** = Determina el factor de luz natural

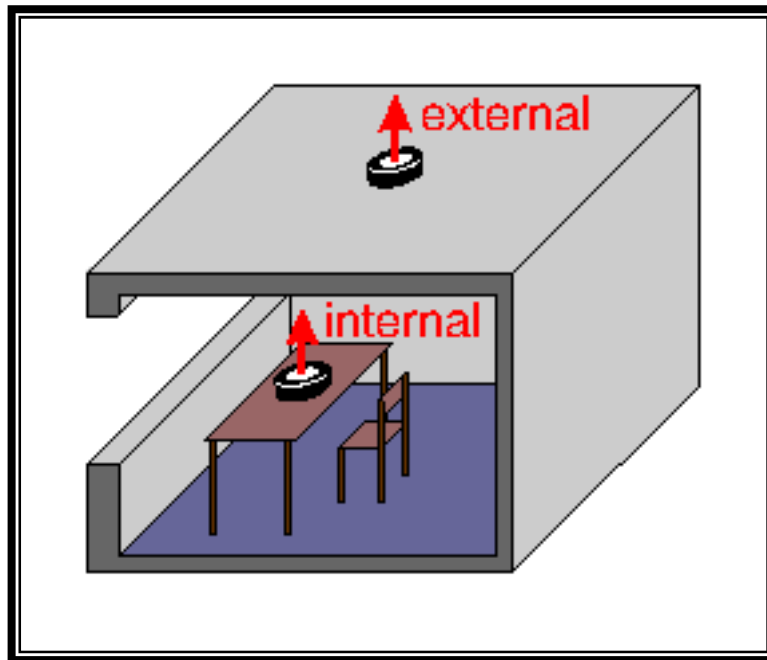
**$E_i$**  = Iluminación interior

**$E_e$**  = Iluminación exterior

En el modelo físico de un espacio se debe de realizar la medición de la iluminación interior ( $E_i$ ) para poder dividirse entre la iluminancia externa ( $E_e$ ) simultáneamente; para la aplicación de la fórmula que determina el valor del *factor de día*. (Fig.16)

---

<sup>16</sup> IESNA, The illuminating Engineering Society of North America.



**Fig.16** Diagrama de la definición del Factor de Día.

Se ha propuesto un predimensionamiento de forma separada, considerando los tres componentes de la formula según la regularización Italiana:<sup>17</sup>

$$\mathbf{DF= SC + ERC + IRC \dots\dots\dots (F\acute{o}rmula\ 6)}$$

en donde:

**DF** = Determinan el factor de luz en un punto determinado al interior del espacio

**SC** = El componente de cielo o la porción de cielo vista

**ERC** = Reflectancia externa

**IRC** = Reflectancia interna

Se adicionan factores de mantenimiento de reflectancia interna (IRC), así como de transmisión, mantenimiento y obstrucciones de la abertura, de componentes, y de factores adicionales, para tener con mayor exactitud el nivel de iluminación natural.

<sup>17</sup> La Normalización italiana se encuentra registrada en la pagina del CIE.

En condiciones de cielo cubierto sus valores son independientes de la orientación de las ventanas dan un valor de intensidad lumínica la interior del edificio para captar la luz natural. La luz se determina en tres componentes:

- El **cielo**; depende de la hora del día y estación del año.
- La **reflexión externa**; proviene de los rayos solares reflejados, por el suelo, y otros edificios
- La **reflexión interna**; es aquella referida por materiales, como son las paredes, techos u otras superficies interiores.

La luz es emitida por fuentes naturales como el Sol y el fuego, que se consideran fuentes de luz directas. La luz proviene de las aberturas y por reflexión de las paredes. El tamaño de las mismas determina la cantidad de luz recibida. Su posición alta o baja y su forma vertical o horizontal tiene una influencia en la difusión y la distribución de la luz; igualmente influyen la calidad de la superficie de las paredes, el color de las mismas y la reflectancia de los materiales.

Los elementos de paso de luz natural busca mejorar el proyecto arquitectónico mediante sistemas de aprovechamiento de luz natural en la aportación del diseño de dicha luz, considerando el comportamiento del color de la misma a partir del estudio del índice del rendimiento de color y la temperatura de color; éstos son determinantes el diseño de un espacio para obtener el confort lumínico idóneo para el usuario.

### 3.6. El Color en la Iluminación

#### 3.6.1. El Color de la Luz

El color es un fenómeno de la percepción del hombre. El color en el aspecto de la visión es una respuesta psicológica que consiste en la reacción física del ojo y la respuesta interpretativa automática del cerebro a las características de la longitud de onda de la luz sobre cierto nivel del brillo produciendo en los niveles inferiores las diferencias del brillo. Tiene una estrecha relación con los sentidos del ojo.

Una variable ambiental adicional, relacionada principalmente con la calidad de luz, es la que se conoce como el color de la luz. Se define como la consecuencia del reparto de energía en las distintas longitudes de onda del espectro (Fig. 17).



**Fig. 17.** Área de estudio, sensación de calidez y frialdad en el espacio.

El color de la luz se utiliza como un parámetro de confort visual, tomando en cuenta dos factores: la Temperatura de Color y el Índice de Rendimiento Cromático (IRC). Estas variables se miden en unidades Kelvin ( $K$ ) y en porcentaje respectivamente. Son útiles para el diseño de un ambiente en condiciones de confort lumínico, permitiendo tener una compatibilidad con los requerimientos lumínicos de un espacio.

### 3.6.2. Temperatura de Color

Es la tonalidad aparente, ya sea cálida, neutra o fría, de una fuente luminosa artificial o eléctrica. Se mide en unidades Kelvin ( $K$ ).

Se define como:

“Indica el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro a una determinada temperatura en grados kelvin”

(V. Olgay, 2002)

Considerado el cuerpo negro como radiante teóricamente perfecto, este va cambiando de color a medida que vamos aumentando su temperatura, adquiriendo al principio el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo, el blanco, el blanco azulado, y finalmente el azul.

El espectro se modifica según la temperatura. Hacia los  $3000K$  la luz es rojiza; hacia los  $5.000$  se compensa la distribución y a mayor temperatura es azulada. En el caso de la luz natural vemos que sus temperaturas de color son del orden de  $6000 - 6500K$ , en relación con las reales de la superficie que emite la luz solar (Fig.18).

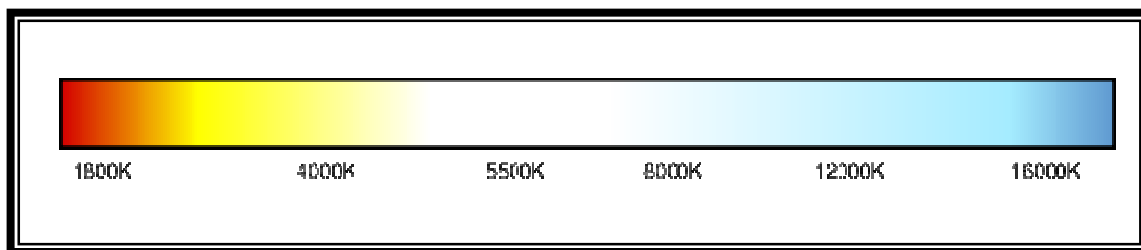


Fig. 18 Temperatura del color

El someter un espacio a diferentes condiciones lumínicas, mediante la combinación de estas variables, permite observar los cambios de la temperatura de color en un mismo espacio, observar las figuras de la 19 a la 22.

Aplicando iluminación natural a partir de ventanas completamente abiertas, abiertas a la mitad, y cerradas, combinadas con la iluminación eléctrica al 50% y 100% de iluminación artificial en un espacio dado, permite enriquecer el comportamiento lumínico a partir de la temperatura de color de la misma habitación. Por eso es determinante saber el uso que va tener el espacio que se va a diseñar para que la **TC** sea la adecuada y se encuentre dentro de los requerimientos mínimos de confort lumínico.

Las imágenes de las figuras 19-28 muestran dicha aplicación en una sala de juntas, aplicación realizada en la pagina del CIE<sup>18</sup>, según las condiciones descritas en cada caso:

- **Condición 1:** Iluminación eléctrica con lámparas encendidas al 100% con **TC** de 4000K (amarilla) con ventanas cerradas (**Fig. 19**).
- **Condición 2:** Iluminación eléctrica apagada, con temperatura de color de 12000K (azules), ventanas totalmente abiertas que permiten la iluminación natural, la iluminación eléctrica apagada (**Fig.20**).
- **Condición 3.** Iluminación eléctrica con lámparas prendida al 100% con temperatura de color de 8000K, ventanas totalmente abiertas (**Fig.21**).
- **Condición 4.** Iluminación eléctrica con lámparas prendida al 50% con temperatura de color de 9000K, ventanas totalmente abiertas (**Fig.22**).
- **Condición 5** Iluminación eléctrica con lámparas prendida al 100% con temperatura de color de 4000K, ventanas abiertas a la mitad (**Fig.23**).
- **Condición 6.** Iluminación eléctrica con lámparas prendida al 50% con temperatura de color de 3500K, ventanas abiertas a la mitad (**Fig.24**).

---

<sup>18</sup> [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).

- **Condición 7:** Iluminación natural ventas izquierda totalmente abierta con temperatura de color de 11000K la iluminación eléctrica apagada (Fig.25).
- **Condición 8:** Iluminación natural ventas derecha totalmente abierta con temperatura de color de 11000K, la iluminación eléctrica apagada (Fig.26).
- **Condición 9:** Iluminación natural ventas abiertas a la mitad con temperatura de color de 14000K, la iluminación eléctrica apagada (Fig.27).
- **Condición 10:** Iluminación natural ventas abiertas a la mitad de lado derecho con temperatura de color de 16000K, la iluminación eléctrica apagada. (Fig.28)



Comportamiento lumínico de la sala de juntas con diferentes condiciones de TC:



**Fig.19** Sala de Juntas con temperatura de color TC 4000K (amarilla).  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.20** Sala de Juntas con temperatura de color azul TC 12,000K  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.21** Sala de juntas con temperatura de color TC 8000K **Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.22** Sala de Juntas con temperatura de color TC 9000K  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.23** Sala de juntas temperatura de color TC 4000K  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig. 24** Sala de juntas con temperaturas de color TC 3500K  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.26** Sala de juntas con temperatura de color  
**TC 11000K**  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.25** Sala de juntas con temperatura de color  
**TC 11000K**  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.27** Sala de juntas con temperatura de color  
**TC 14000K**  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).



**Fig.28** Sala de juntas con temperatura de color  
**TC 16000K**  
**Fuente:** [www.colour/daylighting/artificial/uk](http://www.colour/daylighting/artificial/uk).

Los valores de algunas de las temperaturas de color percibidas en un entorno habitual se pueden observar en la tabla como parámetros generales (**Tabla 7**).

Color de la luz	Temperatura de color	Ambiente Producido
Blanco rojizo	Menos de 3300 K	Cálido
Blanco	3300 K A 5000 K	Neutro
Blanco azulado	Mas de 5000 K	Frío

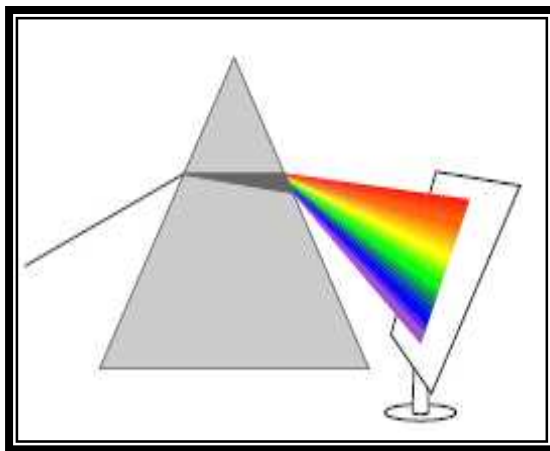
**Tabla 7** Relación entre la Temperatura de color y el ambiente producido.

**Fuente:** [www.voltimum.es](http://www.voltimum.es)

La temperatura de color puede tener efectos positivos o negativos sobre las personas, de acuerdo al tipo de actividad que desarrollan ya que ésta define la apariencia del color, tanto de la luz natural y la que es emitida por la lámpara como del ambiente mismo. Sin embargo la elección final del color de la iluminación que se va utilizar depende entre otras razones de la presencia o ausencia de la luz natural, de las condiciones climáticas y de las preferencias personales.

### 3.6.3. El Índice de Rendimiento de Color (IRC)

Es la capacidad de una fuente luminosa de reproducir los colores tal y como son en la realidad; se mide en porcentaje, con valores de 0 a 100. Para tener una buena reproducción cromática la luz ha de tener energía en todas las longitudes de onda, como es el caso de la luz solar, que es también a la que más acostumbrado está el ojo humano promedio. Por tanto, en la práctica el IRC de la luz natural es del 100% (Fig. 29).



**Fig.29** Reproducción de la luz natural al 100%

El IRC expresa las características de composición espectral de la luz emitida por una fuente en relación al color de los objetos iluminados. Se debe tener presente que para tener una reproducción del color de la luz fidedigna la fuente de luz debe tener

energía suficiente en todos las longitudes de onda. Como ya se dijo, esto lo determina el IRC por su unidad en porcentaje.

En la tabla 9 se hace una breve descripción de las fuentes luminosas a partir del índice de rendimiento de color expresada como **TC** en grados Kelvin (*K*) (Tabla 8), que permite hacer una referencia a las tonalidades de diferentes fuentes lumínicas (Fig. 30).

Índice de Rendimiento de Color		
Color	TC ( K )	Descripción
Azul	100,000 a 30,000	Cielo azul con sol.
	10,000	Cielo despejado.
	6,000	Cielo nublado.
	6,500	Lámparas fluorescente Blanco luz de día.
	5,500	Lámpara de flash.
	5,200	Luz solar directa.
Blanco	4,500	Lámparas fluorescente Blanco Frío.
	4,000	1hr antes/después de la puesta / salida del sol.
	3,500	Lámparas fluorescentes Blancas.
	3,100	Lámparas fluorescentes Blanco Cálido.
	2,700	Lámparas incandescentes.
Amarillo	2,500	30 minutos después / antes de la salida/ puesta de sol.
	2,000	Salida o puesta de sol.
Rojo	1,850	Luz de la llama de una vela.

Tabla 8 Índice de rendimiento de color por fuente lumínica







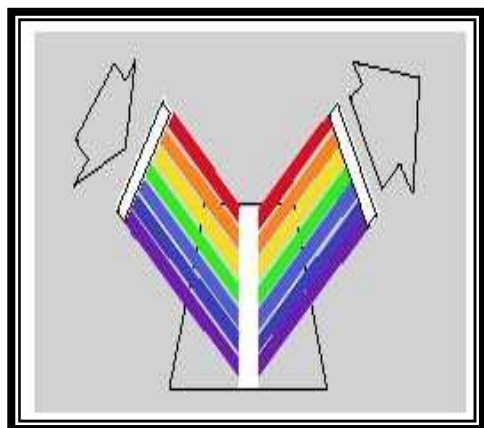
Vela	Incandescente	Fluorescente Neutral	Fluorescente Blanco Frío	Sol	Cielo Nublado
					
1850K	2700K	3500K	4100K	5800K	6000K

Fig. 30. Representación grafica de las fuentes lumínicas con su respectiva temperatura de color

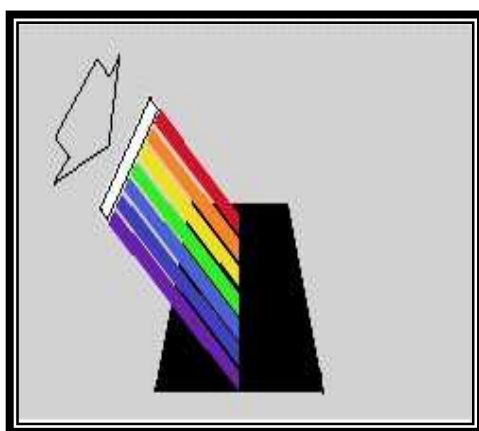
Un objeto es rojo porque refleja las radiaciones luminosas rojas y absorbe todos los demás colores del espectro. Esto es válido si la fuente luminosa produce la

suficiente cantidad de radiaciones en la zona roja del espectro visible. Por lo tanto, para que una fuente de luz sea considerada como de un buen rendimiento de color, debe emitir todos los colores del espectro visible (**Fig. 31**). Si falta alguno de ellos, los faltantes no podrán ser reflejados. Aquí encuentra aplicación la teoría de Lambert Laws<sup>19</sup> dice que la superficie de espejo perfecto es igual al ángulo de la luz que incide siendo este igual al ángulo de la luz que se refleja (**Fig. 31**).



**Fig. 31** Reflexión total de la luz blanca

El IRC se pierde si se coloca cerca de un área negra provocando el efecto de absorción de la luz blanca (**Fig. 32**).



**Fig. 32.** Absorción de la luz blanca

---

<sup>19</sup> Lambert, autor de la teoría de la superficie de espejo perfecto.

En la aplicación de obtener ventajas del IRC se debe prever la reproducción de los colores no necesariamente es la misma en todas las fuentes, por lo que la selección de la iluminación a utilizar también deberá considerar la calidad de la luz que emite en función de la capacidad de facilitar al ojo humano la diferenciación y el reconocimiento de los diferentes objetos que se están iluminando.

#### 3.6.4. Componentes de la Luz

La luz se compone de tres coeficientes: De reflexión (r), de absorción (a) y de transmisión (t). Nos indican respectivamente, el comportamiento de la luz incidente que es reflejada, absorbida y transmitida por una superficie dada. La suma de los tres coeficientes siempre valdrá la unidad:

$$r + a + t = 1 \quad \text{.....} \quad \text{(Fórmula 7)}$$

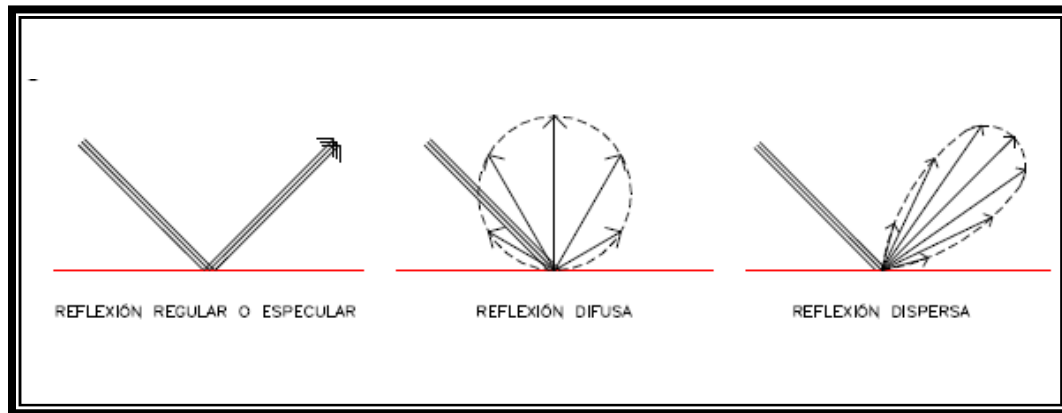
donde:

**r=** Reflexión

**a=** Absorción

**t=** Trasmisión

- **Reflexión:** Como la energía puede reflejarse cualitativamente de forma distinta según el tipo de superficie, se considera desde el punto de vista espectral y desde el punto geométrico. Las diferentes posibilidades de comportamiento desde el punto de vista espectral de las superficies pueden tener comportamientos distintos para las distintas longitudes de onda dentro del espacio visible. Las cuales se dividen según el material de la superficie: reflexión regular o espectral, reflexión difusa y reflexión dispersa. Tal es el comportamiento de los rayos solares determinado por el material o color a reflejar en una superficie.



**Fig. 33** Reflexión de los rayos solares según sea el material de la superficie.

La reflexión es, entonces, la capacidad de un cuerpo de reflejar la luz, se expresa por el coeficiente de reflexión ( **$p$** ) que equivale a la relación entre el flujo luminoso reflejado por el cuerpo o material ( **$Fr$** ) y el flujo luminoso incidente sobre su superficie ( **$Fi$** )

$$p = Fr / Fi \dots\dots\dots \text{(Fórmula 8)}$$

donde:

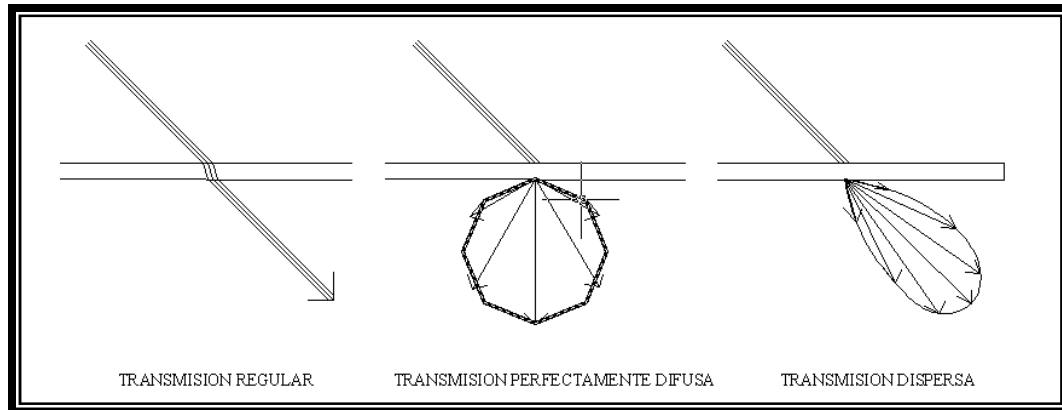
**$p$**  = Coeficiente de reflexión

**$Fr$** = Flujo reflejado

**$Fi$** = Flujo incidente

La luz se propaga por el espacio a una velocidad que aplicada a lo arquitectónico, se puede considerar instantánea. Sin embargo, al encontrar un obstáculo material se refleja en parte, otra parte es absorbida por la superficie y puede ocurrir que una parte se transmita al otro lado del obstáculo, dependiendo de si éste es opaco, translúcido, o transparente.

- **Transmisión :** Siempre que las irregularidades de los materiales sean de un orden de magnitudes similar a la longitud de onda de la luz se producirá una difusión de la luz; si estas irregularidades son mucho menores se producirá una reflexión o transmisión regular, sin modificación de la geometría de la luz incidente.



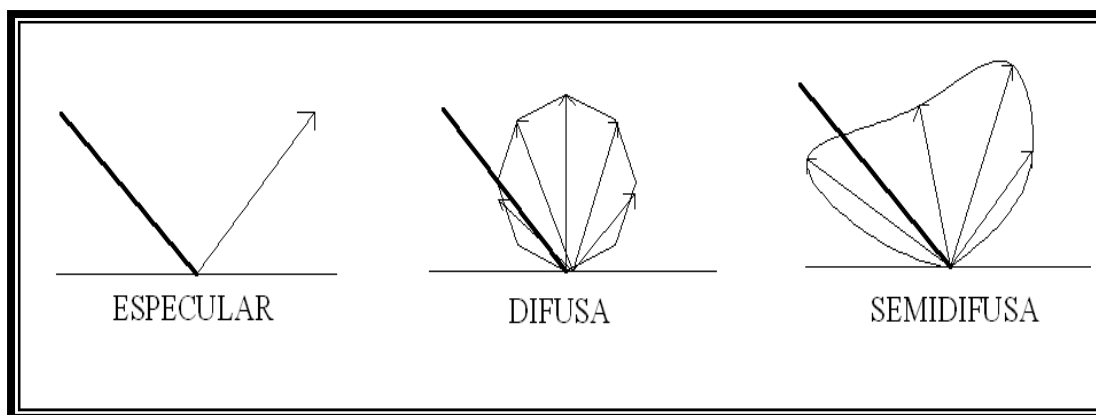
**Fig.34** Transmisión de los rayos solares según el material de la superficie.

Como la longitud de onda de las radiaciones lumínicas es muy pequeña, la mayor parte de las superficies con las que trabajamos en arquitectura presentan reflexiones de tipo difuso y no son atravesadas por la luz. Únicamente las superficies muy pulidas y los cristales o vidrios tienen un comportamiento regular a la reflexión y transmisión. En el caso de la reflexión o transmisión difusas, la distribución resultante de la luz es tal que la luminancia  $L$  de la superficie, observada desde cualquier dirección, es constante y tiene un valor.

La mayor parte de las superficies tienen reflexión difusa, este comportamiento tiende a que la luz natural se reparta más uniformemente por los espacios interiores.

Las superficies con reflexión regular (o especular) pueden ser útiles para reflejar la luz y especialmente la radiación directa del sol, hacia direcciones específicas que resulten más convenientes. Igualmente, las superficies transmisoras son normalmente regulares o transparentes, por lo que permiten la entrada de los rayos directos del sol sin variar su geometría.





**Fig. 35.** Incidencia de un rayo en superficies: especular, difusa y semidifusa

### 3.6.4. Factor de Uniformidad sobre el Plano de Trabajo

La distribución de la iluminación dentro del espacio deberá determinar el factor de uniformidad sobre el plano de trabajo, expresado en la siguiente ecuación:

$$Fu = I_{min} / I_{max} \quad \dots\dots\dots \text{(Fórmula 9)}$$

donde:

**Fu=** Factor de uniformidad.

**I<sub>mín</sub>=** Nivel de iluminación mínimo.

**I<sub>max</sub>=** Nivel de iluminación máximo.

La reflectancia de superficies puede ocuparse para lograr las relaciones de confort en el espacio, un estudio de todos los factores y superficies ambientales, como techo, piso, paredes, etcétera (Fontoynt, 1999), considerando así mismo la actividad que en un espacio dado se realice, con base en los parámetros mínimos de iluminación establecidos por la CIE o autoridad competente para determinar el comportamiento correcto del área a iluminar.

### 3.6.5. Valores de reflectancia

Consiste en obtener el factor de reflexión de las superficies seleccionadas. Existen al menos dos métodos.

El primero es **el método de iluminación-luminancia**, que consiste en la medición de dos parámetros: la medición de la luminancia de las superficies ( $L_1$ ) la cual se obtiene colocando la fotocelda del luxómetro de cara a la superficie, a una distancia de 10 cm, hasta lograr que la lectura sea estable; después, la medición de la iluminación que reciben las superficies ( $E_2$ ), la cual se realiza con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie con el fin de medir la luz incidente; obtenidas las dos mediciones se determina el factor de reflexión de la superficie ( $K_f$ ) (Artif, 1998).formando la siguiente ecuación:

$$K_f = L_1/E_2 (100) \dots\dots\dots (Fórmula 10)$$

en donde:

$K_f$ = Reflexión de la superficie

$L_1$ = Medición de la luminancia de las superficies

$E_2$ = Medición la luz incidente

El segundo método es el de **luminancia- luminancia**, que consiste en medir la luminancia de dos superficies: una corresponde a un material de referencia de reflectancia conocida y otra correspondiente al material a examinar (González, 2000). Se obtiene la siguiente ecuación:

$$K_{fd} = E_{ld} / E_{lc} * K_{fc} \quad \text{.....} \quad \text{(Fórmula 11)}$$

en donde:

**K<sub>fd</sub>** = Es el valor de reflexión de la superficie examinada.

**E<sub>ld</sub>** = Es la luminancia de la superficie examinada ( $cd/m^2$ ).

**E<sub>lc</sub>** = Es la luminancia de la superficie de referencia conocida ( $cd/m^2$ ).

**K<sub>fc</sub>** = Es el valor de reflexión de la superficie conocida.

La capacidad de reflejar la luz que tienen los diversos colores y materiales es de gran utilidad para realizar el cálculo de iluminación en un diseño. Por ejemplo: un ambiente pintado con colores claros permitirá un mayor aprovechamiento de la luz que con oscuros, ya que los colores claros reflejan más la luz; también, una superficie brillante reflejará la luz en forma especular, mientras que una mate lo hará en forma difusa.

### 3.6.6. Valores de Transmitancia

Este procedimiento consiste en obtener el factor de transmitancia de las superficies vidriadas del edificio (Fontoynt, 1999). Existen al menos dos métodos para medir la transmitancia.

El **método de la normal-normal** (transmitancia vidrio claro (**tnn**)): se determina estableciendo una relación entre la luminancia de un objeto visto detrás del vidrio (**Lin**) en una dirección perpendicular al plano vidriado y la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección del vidrio (**Lout**), generalmente las medidas se toman primero con las ventanas cerradas y luego con las ventanas abiertas. Se obtiene la siguiente ecuación:

$$T_{nn} = L_{in} / L_{out} \quad \text{.....} \quad \text{(Fórmula 12)}$$

en donde:

**Tnn** = Transmitancia vidrio claro.

**Lin** = Objeto detrás del vidrio.

**Lout**= Objeto en la misma dirección del vidrio.

El **método de la hemisférica-hemisférica (thh)**: se determina relacionando la iluminancia (E) de un objeto visto detrás del vidrio difuso (**lin**) en una dirección perpendicular al plano vidriado y la iluminancia del mismo objeto, en la misma dirección del vidrio (**lout**). Se obtiene la siguiente ecuación:

$$\mathbf{thh = lin/lout} \dots\dots\dots(\mathbf{F\acute{o}rmula\ 13})$$

en donde:

**thh** = Objeto visto detrás del vidrio difuso.

**lin** = Objeto visto detrás del vidrio difuso.

**lout** = Mismo objeto en la misma dirección.

En el caso de que los métodos para medir la transmitancia del vidrio no resulten prácticos debido a la dificultades para abrir las ventanas o llegar a ellas por la altura, será necesario recurrir a las especificaciones de fabricación de las superficies vidriadas. Se considerara un 10% de margen como factor de uso en el vidrio de las ventanas.

### 3.7. Estrategias de Diseño Lumínico

En el diseño de iluminación ambiental se debe controlar el exceso de luz para estar dentro de los parámetros recomendados según la actividad a realizar. Las estrategias de iluminación natural se enfocan en las siguientes estrategias:

1. Captación solar.
2. Múltiples reflexiones de los rayos solares
3. Distribución de la luz natural.
4. Focalización de la luz.
5. Análisis arquitectónico.

**Captación solar:** es la proporción de luz solar que se transmite a través de los vidrios hacia el interior del espacio arquitectónico. La calidad de la luz dependerá de la naturaleza o del tipo de pared vidriada, de su rugosidad, espesor y limpieza. Las obstrucciones naturales pueden construir una barrera para la radiación.

Las **múltiples reflexiones de los rayos solares** al edificio produce un efecto variado dependiendo de las condiciones externas (tipo de cielo, fenómenos atmosféricos, estación, hora del día y lo despejado del sitio específico (es decir, ausencia de otras obstrucciones físicas en la trayectoria de la luz solar.) Pero también en función del emplazamiento, la orientación, la inclinación, el tamaño y el tipo de vidrio.

**Distribución de la luz natural:** la luz natural se refleja en el conjunto de superficies internas en mayor medida mientras menos obstrucciones físicas o vegetales se tengan y se considere la geometría local o al mobiliario. También la condiciona el tipo de recubrimientos de la superficie (mates o claros). Incluso el empleo de vidrios o sistemas reflectantes que permiten a la luz alcanzar el fondo del local.

**La Focalización de la Luz:** se utiliza cuando se requiere que la luz enfatice bien un espacio o bien un objeto particular. La iluminación cenital o lateral alta crea un contraste luminoso importante a partir de la iluminación ambiental.

En el **Análisis Arquitectónico** se distinguen los espacios iluminados, los elementos que permiten la penetración de luz y los sistemas de control de iluminación natural. Dentro de las estrategias de diseño de los espacios arquitectónicos se consideran los elementos que permiten el paso de luz, como lo son los de tipo lateral (ventanas, repisas de luz, muros transparentes), cenital (claraboya o tragaluz, ductos lumínicos, domos) o la combinación de ambos. Los sistemas de control de luz dependen de la calidad y acabados de los materiales (vitrales, vidrios translucidos o bien opacos, protecciones solares, obstrucciones naturales del entorno, etcétera).

El Impacto de las estrategias de diseño en el proyecto de investigación, se dio mediante la captación solar a partir de los nuevos dispositivos de alta eficiencia de iluminación natural, los cuales se mencionaran con más detalle en el capítulo IV, mediante la utilización de las múltiples reflexiones de los rayos solares dirigidos al interior o exterior de los diferentes dispositivos con materiales diversos de alta reflectancia.

Los diferentes dispositivos reparten la luz natural al interior del espacio, con los requerimientos mínimos de iluminación establecidos por la normatividad. Se tomo en cuenta el análisis arquitectónico previo, que permite la utilización del dispositivo de alta eficiencia energética correcto, que impacten con un mayor ahorro de energía a la edificación.

En la aplicación del caso de estudio es importante considerar las estrategias de diseño para poder evaluar el proyecto. Esto permite proponer el dispositivo de alta eficiencia energética de iluminación natural, que permita obtener los niveles de confort lumínico más adecuados, al proyecto.

### **3.8. Métodos de Predicción de Iluminación.**

A partir de la identificación de los principios físicos que envuelven el fenómeno lumínico, así como de la definición de las unidades y ecuaciones básicas se han planteado diferentes métodos para predecir y calcular la cantidad y distribución de dichos fenómenos en los espacios a estudiar.

Estos métodos de predicción, contemplan generalmente el desarrollo de cálculos matemáticos, procedimientos gráficos, o evaluaciones a escala o *in situ*.

En cuanto a las diferentes herramientas para la evaluación de la iluminancia se mencionan las más comunes. Los métodos de predicción son fundamentalmente tres:

- **Métodos Matemáticos**
- **Métodos de Modelos Físicos**
- **Métodos Computacionales**

Estos métodos de predicción de iluminación permiten realizar un análisis cuantitativo mediante el estudio del comportamiento lumínico dentro de una edificación, a partir de la observación en el proceso de experimentación para determinar los niveles de iluminación en el área a estudiar.

#### **3.8.1. Métodos Matemáticos**

Es preciso destacar que cualquier predicción matemática describe una situación únicamente aproximada, ya que en la realidad los factores que intervienen son innumerables y cambiantes, además de que los propios modelos suelen concebirse a partir de situaciones específicas que difícilmente se repiten en la práctica.

## Modelos de Predimensionamiento Matemático:

- **Método de cálculo de Factor de Día**
- **Método del Lumen**

Como se dijo anteriormente, el **Método del Factor de Día** se le conoce comúnmente como el “*Daylight Factor Method*”. El objetivo es conocer la cantidad de luz existente en el ambiente interior; así como su distribución. El cálculo permite conocer las condiciones interiores en relación con unas exteriores que son combinables. Los resultados se presentan en porcentajes respecto al nivel exterior: “Factores de Iluminación Natual” (FIN) o *Daylighting Factors* (DL).

Este método permite conocer aproximadamente la cantidad de luz que penetra en el espacio y deduce a partir de ello la iluminancia media resultante en el plano de trabajo. La distribución de la luz en el interior es irregular, sólo en el caso de sistemas cenitales difusores o de evaluaciones generales comparativas, puede considerarse útil.

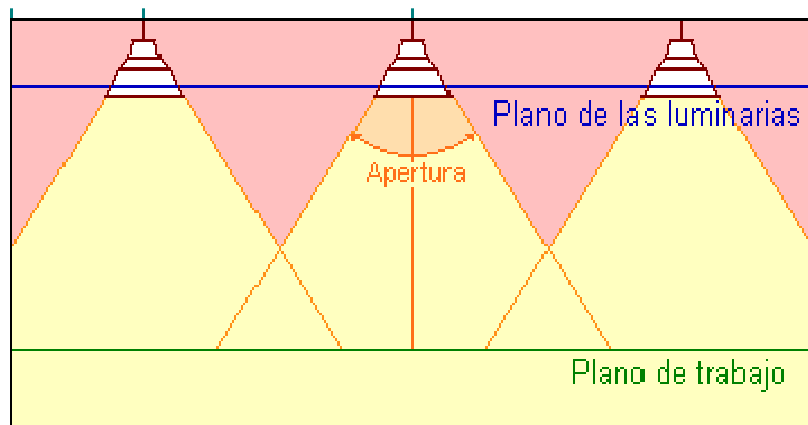
En la presente investigación se utilizó el método de cálculo de Factor de Día, aplicado en el proceso metodológico en la fase del proceso del análisis del monitoreo, determinando el factor de confort lumínico dentro del espacio arquitectónico. Se observa su aplicación en las tablas de los capítulos VI y IX.

El segundo modelo de predimensionamiento aquí presentado es el **Método del Flujo Total**, también llamado **Método del Lumen**<sup>20</sup>. Éste llega a ser bastante útil por la rapidez en el cálculo y su aproximación a la realidad. Se basa en el principio de identificar la cantidad de luz que penetra por la abertura y a partir de las características internas del espacio, deduce la que llegara al plano de trabajo. (Fig. 36).

---

<sup>20</sup> Método del Lumen total o bien conocido como el Flux Method, este método se utiliza para la distribución de la energía eléctrica.





**Fig. 36** Esquema del Método del Lumen.

Se obtiene un promedio aproximado de la iluminancia del ambiente, no la distribución de la luz sobre el plano de trabajo. Debido a las condiciones lumínicas particulares y representativas, con dicha distribución se puede llegar a deducir la correspondiente al plano de trabajo de manera muy aproximada.

El método de lumen en la presente investigación no fue utilizado ya que este, se aplica como método de cálculo de iluminación artificial.

### **3.8.2. Método de Modelos Físicos para Predicción del Comportamiento de la Luz Natural**

Es una herramienta de análisis y proyección arquitectónica que determina niveles de luz de día aproximados en un espacio, permitiendo hacer una valoración a escala de un edificio semejante a la realidad. Son útiles para tomar decisiones de afinación de diseño de los sistemas de control lumínico.

En los modelos físicos la reproducción de la luz es semejante a la realidad por las múltiples reflexiones que ésta tiene al interior de un espacio.

Se dividen en:

1. Modelo a Escala
2. Modelo Real

El **Modelo a Escala** está correctamente construido: considerando que los porcentajes de transmitancia sean semejantes a la realidad, una distribución exacta e igual del espacio, que hace escala de la transmitancia del modelo tridimensional del espacio en proporción 1:1, hace posible la reproducción de iluminación natural en el interior del espacio, no solo por el aporte de la luz directa que ingresa, sino además por la reflexión en las superficies internas del mismo. (Fig. 37)



**Fig. 37** Modelo tridimensional a escala.

La elaboración de modelos a escala para estudios de iluminación constituye en uno de los procedimientos experimentales para análisis y simulación de luz natural de mayor efectividad frente a procedimientos analíticos y gráficos, ya que permite hacer evaluaciones de este recurso bajo condiciones de cielo exterior y cielo artificial. Para

poder establecer los valores de Factor de luz natural pueden realizarse mediciones de iluminancia exterior e interior simultáneamente. (Fig. 37) En otras palabras,

*“La realización de maquetas de estudio permiten evaluar la calidad del espacio iluminado”*(Olgay,2003).

**Modelos Reales.** Esta técnica de medición y predicción se caracteriza por el amplio rango de tiempo en que se realizan mediciones de los valores de iluminancia en un espacio construido o existente. Esta variación, apenas perceptible a simple vista, puede desviarse del valor medio medido en un 30%, en un período de 15 minutos. Es muy importante tomar en cuenta para la realización de mediciones tanto el factor del mismo cielo, como el del interior del espacio existente. (Fig. 38)



**Fig. 38** Espacio Real del modelo tridimensional

En la presente investigación se utilizó el modelo físico real, y el modelo a escala calibrado, permitiendo realizar las mediciones en diversas condiciones lumínicas con diferentes tipos de cielo, para ser monitoreada, evaluada y analizada en el proyecto de caso de estudio.

### 3.8.3. Métodos Computacionales

En la actualidad existen programas de cómputo que incluyen herramientas para el cálculo de la luz de día, que está estrechamente ligada con las condiciones del cielo en cuanto a nubosidad y radiación solar (las dos variables más importantes para determinar la incidencia solar dentro de un edificio).

Los programas computacionales son una herramienta que permite optimizar el tiempo de ejecución ocupado en realizar un análisis cualitativo, pero aún no existen un programa que sea igual al entorno en forma óptima, es decir, que permita simular las múltiples reflexiones de la luz tal y como éstas ocurren en la realidad.

Algunos de los métodos computacionales existentes permiten realizar cálculos preliminares para ser comprobados en los modelos a escala. Los programas conocidos para simulación de iluminación natural son escasos ya que la mayoría de los programas se concentran en el diseño de iluminación artificial.

Entre los programas disponibles actualmente se encuentran:

- SKyVision
- Lumen Designer
- Dial Lux
- Autocad Revit
- Lightscape
- Radiance

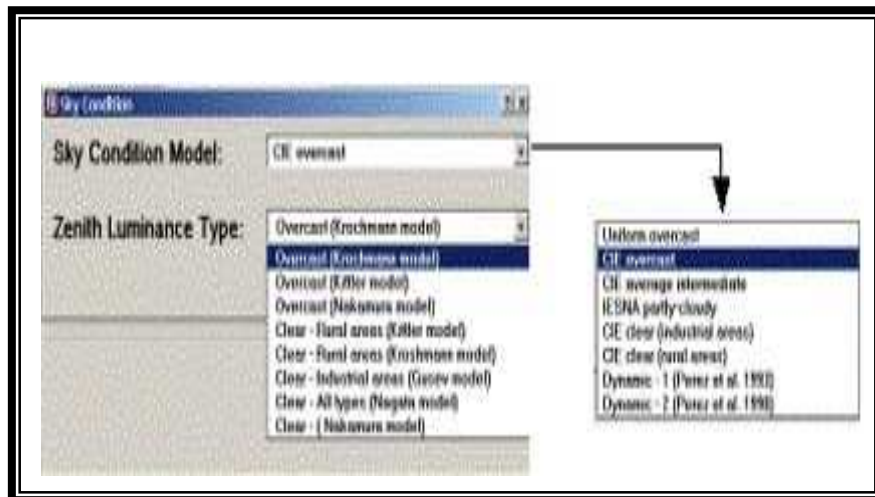
El programa se llama SkyVision<sup>33</sup>, esta avalado por estándares de normatividad internacionales como es el CIE y el IESNA, y donde permite calcular la luz de día con

---

<sup>21</sup> Programa de computadora para el cálculo de luz de día

factores de día nublado, día seminublado y día despejado, a partir de la latitud y ángulo de azimut donde se encuentre la ciudad. Algunas de las características del programa como herramienta del diseño son:

- Calcular las características ópticas de iluminación al interior.
- Al exterior calcular las reflectancia de los vidrios a partir de una base de datos preestablecida.
- La simulación de cielos reales y dinámicos.
- Permite hacer uso de diferentes dispositivos pasivos de iluminación natural.(Fig. 39 y 40)



**Fig. 39** Programa Sky Vision. National Research Council- Canada

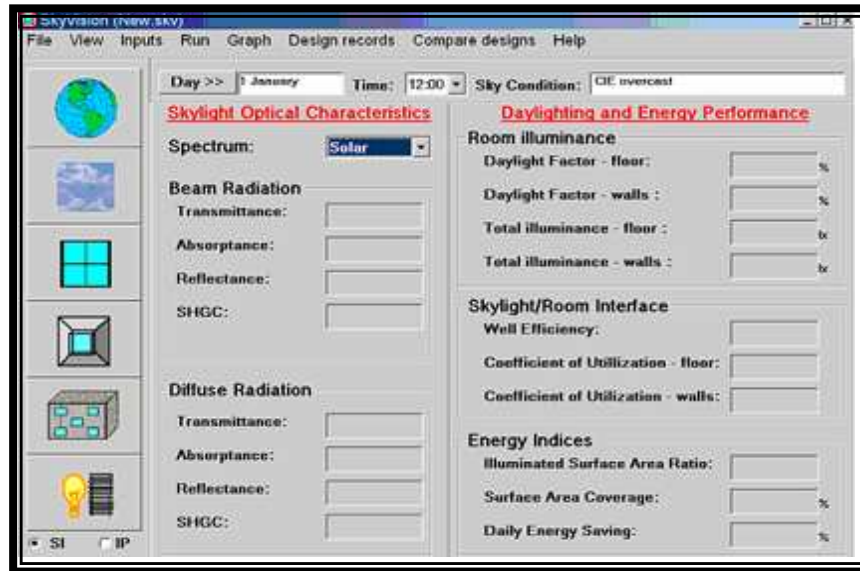


Fig. 40 Pantalla principal del programa Sky Vision

En la presente investigación el empleo de los métodos computacionales no son aplicados. Los métodos de predicción de modelos físicos tienen un papel fundamental en la aplicación del caso de estudio para determinar el número de pruebas en base de las variables de diseño que se consideran para el dispositivo de alta eficiencia energética.

Es importante resaltar que con base en los métodos de predicción de modelos físicos se realizó el diseño de las hojas de cálculo por métodos matemáticos, que contienen los valores de las mediciones con los datos del monitoreo, aplicando las fórmulas de factor de día y transmitancia de materiales para la obtención de un proceso de evaluación y análisis lumínico del caso de estudio que se detallará en los Capítulos VII y VIII.

# CAPÍTULO IV

ESTADO DEL ARTE

## SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA



**CAPÍTULO IV**  
**SISTEMAS LUMÍNICOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.**  
**ESTADO DEL ARTE**

**4.1. Sistemas para Control de Luz Natural por Inter-Reflexiones.**

El fenómeno lumínico en la arquitectura actual ha sido relegado generalmente a un segundo plano. Esto, resultante de que al concluir el día la mayor parte de las actividades terminaban tanto dentro como fuera de las edificaciones, además de que la asociación de la arquitectura en función de la salud y el confort en general de los usuarios es reciente.

Entre los ejemplos de uso de estos recursos sobresalen los componentes que permitían la penetración de luz cenital en alguno de los templos egipcios. Desde claraboyas o tragaluces en templos grandes, hasta pequeñas aberturas en los techos de templos más pequeños. Elementos similares fueron considerados en muchos edificios romanos, en los que el vidrio se empezaba a utilizar.

Sin embargo, algunos recursos que ocupa dicha asociación, tales como:

- Reflectores horizontales.
- Ductos lumínicos.
- Sistemas de seguimiento solar.

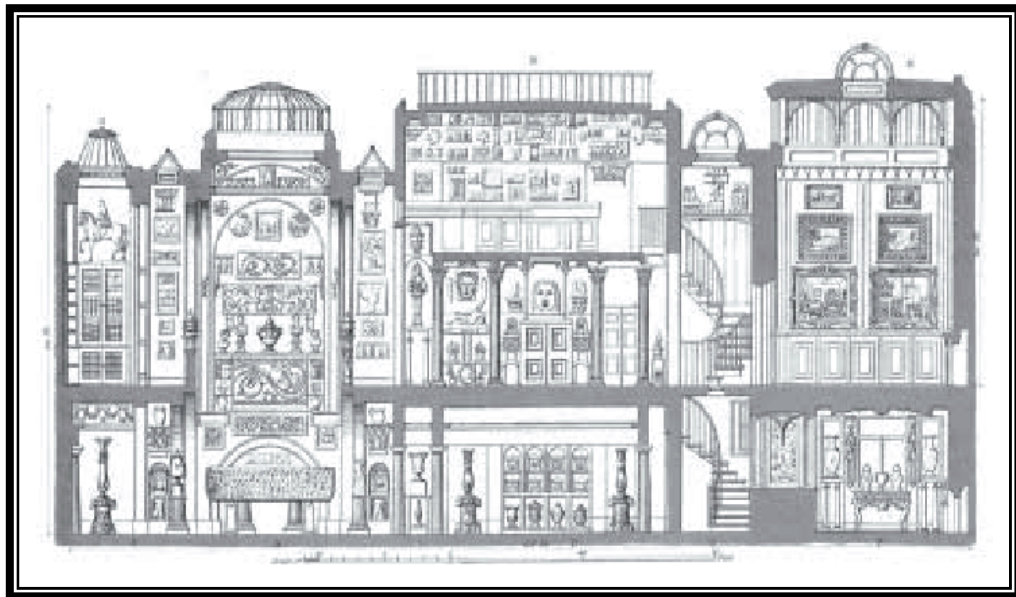
Los primeros en utilizar la iluminación natural fueron los egipcios por medio de la captación de la luz del Sol dirigida por medio de espejos al interior de las pirámides.

La utilización de la luz natural fue utilizada como un recurso en la arquitectura religiosa a partir de la época Bizantina. La solución del apoyo de la cúpula principal sobre las medias cúpulas permitió la penetración de la luz cenital entre ambas a través de cristales.



En la época románica, y posteriormente en la gótica, se utilizó eventualmente la iluminación cenital. Fue en el renacimiento cuando dicho elemento fue utilizado con aplicaciones sobre las cúpulas. En los siglos XV y XVI comenzó la utilización del cristal para las edificaciones en forma más general, combinado con el uso de la iluminación natural al interior de las edificaciones. Sin embargo, sólo una minoría de la población europea —y del mundo— tenía acceso al cristal, debido a los elevados costos de producción.

En la primera mitad del siglo XIX, con el uso ya extendido del acero y del cristal se dio la oportunidad de utilizar de forma más amplia estos materiales en los diseños arquitectónicos. Las soluciones de iluminación cenital en este ámbito comenzaron a surgir. El ejemplo más relevante quizá sea la obra del arquitecto Ingles Sir John Soane, la casa-museo Soane, en Londres, en 1827. Considerado como edificio experimental, cuenta con innumerables entradas de luz cenital de diferentes formas y tamaños, algo que fue innovador para su tiempo (finales del siglo XVIII); (**Fig. 41**).



**Fig. 41** Museum, London. Ernst Wasmuth La casa museo Soane (Londres 1827)

**Fuente:** : BUZAR, STEFAN, *Sir John Soane's Museum, London*.

A partir de la obra de Sir Soane, se hace evidente, en su época, la creciente utilización de la iluminación cenital aplicada como solución para museos, bibliotecas e industrias. En los inicios del siglo XX, muchas de las actividades que requerían luz seguían desarrollándose durante las horas del día, dentro de los edificios: la arquitectura había tenido que tomar en cuenta esta condicionante para el diseño de iluminación en interiores.

En la actualidad existen diversos sistemas de iluminación cenital, inspirados en soluciones tradicionales o con base en ideas originales, dependientes de las posibilidades tecnológicas, para diseñar, evaluar y proponer diversos componentes.

Algunos de los sistemas innovadores para el aprovechamiento de la componente lumínica directa de la radiación solar que se han analizado son, entre otros:

- **Ductos lumínicos (*Light pipes*).**
- **Repisas de luz (*Light shelves*).**
- **Sistemas de seguimiento solar (*tracking systems*).**
- **Paneles prismáticos (*Prismatic panels*).**
- **Fibra óptica (*Optical fibers*).**
- **Lentes cóncavos y convexos (*Concave lens*).**

Estos sistemas se basan en el aprovechamiento de la componente directa de la radiación solar, particularmente en aquellas regiones climáticas donde predominantemente se presentan condiciones de cielo despejado durante la mayor parte del tiempo. Estos sistemas basan su funcionamiento en la captación de la componente lumínica directa de la radiación solar y su re-direccionamiento por medio de múltiples inter-reflexiones en diversos elementos y partes de estos sistemas, hasta introducir la luz natural al interior de las edificaciones en condiciones favorables para que los ocupantes realicen sus múltiples actividades y tareas visuales con condiciones de confort lumínico, al mismo tiempo que se obtienen importantes ahorros de energía eléctrica.

Se describe a continuación cada uno de ellos.

#### **4.1.1. Ductos Lumínicos.**

Es un sistema de iluminación natural que capta la luz del sol mediante cúpulas situadas en las cubiertas de los edificios y la transporta varios metros hacia el interior utilizando un conducto altamente reflectante.

Los ductos lumínicos son, pues, sistemas que captan los componentes directos de la radiación solar en la parte superior de un edificio, principalmente en la cubierta y la conducen verticalmente hacia el interior de las edificaciones por medio de múltiples inter-reflexiones para enviarla al interior de los espacios, utilizando diversos sistemas ópticos. En estos sistemas, es indispensable que la superficie interior sea especular. (Figs. 42-44).



**Fig. 42** Espaciado de ducto lumínico.  
[http. www. everlux.](http://www.everlux)



**Fig. 43** Geometría del ducto lumínico.  
[http. www. everlux.](http://www.everlux)

La eficiencia de estos sistemas depende de varios factores: área del ducto, geometría, espaciado, posición con respecto al seguimiento solar durante el día, entre otros.



**Fig. 44** Iluminación con ductos lumínicos  
[http. www. everlux.](http://www.everlux.com)

Este sistema transporta la luz por múltiples reflexiones especulares. La eficiencia depende del área y geometría del ducto, reflectividad del material (85% a 98%) y capacidad de direccionamiento de la fuente de luz, alcanzando un índice de 50% de eficiencia del sistema. Deben diseñarse de tal manera que no provoquen deslumbramientos indeseables dentro del campo visual de los ocupantes de los edificios.

#### 4.1.2. Refletores de Luz (*Light Shelves*).

Estos dispositivos son **conductores horizontales** de la luz natural, que buscan reflejar la luz incidente hacia el plafón usándolo para distribuirla de manera uniforme, y así reflejarla en las partes posteriores del espacio.

Los niveles de energía al interior de la habitación dependen de los valores de reflectancia, considerando también la latitud, y tienen como beneficio el sombreado que proporciona como un sistema de iluminación natural pasivo.

Se debe de considerar el diseño arquitectónico del techo en dónde se integrarán al diseño del edificio, así como la optimización que representan en la reducción de los costos del consumo de energía.

La distribución normal de la luz del día en un cuarto es muy desigual, con el nivel muy alto de luz natural en las zonas cercanas a la ventana y un nivel muy bajo en las zonas alejadas de la misma. Esto también va a depender del tipo de cielo: con cielo despejado permite mayor incidencia lumínica (**Fig. 45**) con cielo nublado permite menor incidencia lumínica (**Fig. 46**).



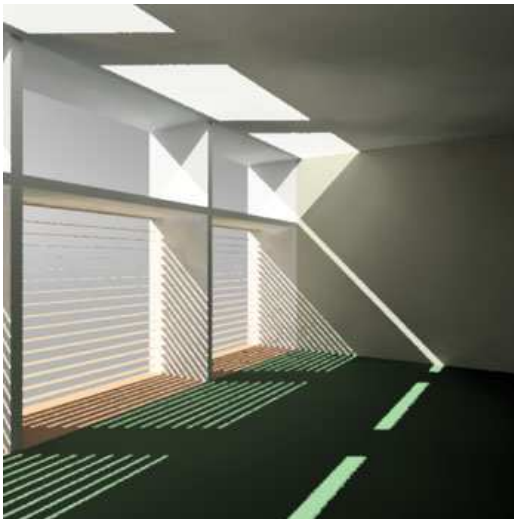
**Fig. 45** *Lightshelf* con cielo despejado  
Fuente: [www.london.uk.lightshelves/main.htm](http://www.london.uk.lightshelves/main.htm)



**Fig. 46** *Lightshelf* con cielo nublado  
Fuente: [www.london.uk.lightshelves/main.html](http://www.london.uk.lightshelves/main.html)

Un *lightshelf* puede usarse para igualar la luz natural. Normalmente se pone en una posición casi horizontal entre la parte superior de la ventana o bien se pone en el tercio superior de ésta.

Funciona como un reflector de los rayos solares para la parte más baja de la ventana y reduce la incidencia de la luz de día en la zona de la ventana. Permite que la luz sea reflejada en aumento por medio del techo a la parte posterior del cuarto mediante película especular de alta reflectancia, que se coloca en la parte superior de la repisa horizontal, esto permite que la reflexión lumínica sea mayor dependiendo si el cielo es claro (Fig. 47) y si el cielo esta nublado (Fig. 48).



**Fig. 47** *Light shelf* con cielo despejado con película especular de alta reflectancia  
**Fuente:** [www.london.uk.lightshelves/main.html](http://www.london.uk.lightshelves/main.html)



**Fig. 48** *Light shelf* con cielo nublado con película especular de alta reflectancia  
**Fuente:** [www.london.uk.lightshelves/main.html](http://www.london.uk.lightshelves/main.html)

La forma óptima del funcionamiento de los *light shelves* es la combinación de un cielo que este la mayor parte del año despejado o claro, y que las repisas horizontales funcionen con las películas especulares de alta reflectancia, utilizando éstas mismas en la parte superior de la ventana. El uso de *light shelves* permite tener un mayor número de reflexiones de los rayos solares hacia el interior de la habitación (Fig. 49).



En cambio si tienen las mismas condiciones en cielo nublado el *lightshef* se coloca con inclinación de 60° para provocar mayor incidencia lumínica (Fig. 50).



**Fig. 49** *Light shelf* con cielo claro con película especular de alta reflectancia en ambos lados  
**Fuente:** [www.london.uk.lightshef/main.html](http://www.london.uk.lightshef/main.html)



**Fig. 50** *Light shelf* con cielo nublado con película especular de alta reflectancia a 60 grados.  
**Fuente:** [www.london.uk.lightshef/main.html](http://www.london.uk.lightshef/main.html)

Aplicados a un proyecto de oficinas en Inglaterra, se ve en el exterior, en la fachada, la utilización de los dispositivos de control solar (Fig. 51) La utilización de los *light shelves* al interior de las oficinas permiten tener mayor iluminación en una área de trabajo de alta precisión como es un espacio para dibujo. (Fig. 52)



**Fig. 51** Utilización en la fachada del *light shelf* en oficinas.



**Fig. 52** Vista del interior de la oficina con el uso del *light shelf*  
[www.londonmet.ac.uk.lightshef/main.html](http://www.londonmet.ac.uk.lightshef/main.html)

#### 4.1.3. Sistemas de Seguimiento Solar.

Los colectores de seguimiento solar son poco conocidos, como los anidólicos o paneles cortados a láser. Los cielorrasos anidólicos integran colectores parabólicos con un contenedor altamente reflectivo y su uso está recomendado para regiones de cielos predominantemente cubiertos. Son elementos de reflexión que atrapan y redirigen o conducen la luz a partir de reflectores solares que incrementan la iluminación natural.

Debido a la orientación del edificio, el funcionamiento de los reflectores se limita a algunas horas del día en cada sitio. Predominantemente las horas de la mañana para sitios ubicados al Este, y las horas de la tarde para el sitios ubicados al Oeste.

Los reflectores se sitúan a media fachada, a una altura en la que se asegura su “soleamiento” durante todo el año, pero lo más cerca del fondo posible. Los reflectores se instalan sobre la fachada del edificio en diversas orientaciones para adaptarse al movimiento del sol. (Fig. 53). Desde, esta posición, los reflectores dirigen los rayos del sol sobre las paredes y el fondo del patio. (Fig. 54)



**Fig. 53** Detalles de los reflectores.



**Fig.54** Posición del los reflectores



El resultado es un importante aumento del nivel de iluminación natural del patio especialmente durante los meses de invierno, cuando el sol es bajo y más se necesita. Los rayos del sol “barren” el fondo a lo largo del día, proporcionando una conexión con el exterior a los usuarios de las oficinas situadas en las plantas inferiores. Los rayos del sol “crean” diseños visuales sobre las fachadas que varían a lo largo del día (Fig. 55). La luz natural llega hasta el fondo del patio aumentando la conexión con el exterior en las plantas inferiores. (Figs. 55 y 56).



**Fig. 55** Diseño en las fachadas con la luz de los reflectores.



**Fig. 56** Cómo llega la luz al patio.

Por lo que respecta a los sistemas de seguimiento solar, éstos basan su funcionamiento en la captación de los componentes directos de la radiación solar y en la conducción hacia el interior de las edificaciones y se caracterizan por presentar una eficiencia óptima.

#### 4.1.4. Paneles Prismáticos para el Control de la Transmisión de la Luz por Refracción.

Son estructuras huecas con paredes de acrílico que contiene ángulo rectos precisos que transportan la luz por reflexión interna total. El problema que presenta este dispositivo es el sistema de recolección de luz natural debido al ángulo de entrada requerido (28/30) La eficiencia media ha sido del orden del 30% para un razón de 1:30. (Fig. 57)



**Fig. 57** El interior de Mc Airport en Inglaterra con la utilización de *solar chandeliers*

La utilización de paneles prismáticos al interior de los espacios permite tener iluminación natural a partir de las múltiples reflexiones de los paneles; además éstos se convierten en una decoración funcional, que permite tener ahorros significativos de energía.

#### 4.1.5. Fibra Óptica

Funciona por reflexión interna total pero su elevado costo restringe su uso a aplicaciones decorativas de luz artificial. El mayor inconveniente surge de la alta concentración requerida dada la escasa apertura de la fibra: se requieren complicados helióstatos que concentren la luz natural. Recientemente se encuentran en estudio concentradores luminiscentes de luz natural emitida como luz fluorescente transportada por guías de material flexible, de un costo menor a la fibra óptica. (Fig. 58).



**Fig. 58** Fibra óptica

El uso extensivo de la iluminación artificial (incandescente y fluorescente) cambio drásticamente las condiciones de un inmueble, equilibrando el edificio con el medio lumínico natural, situación que se da hasta el día de hoy. No es muy común el uso de la fibra óptica en las edificaciones, pero tiene un alto nivel de ahorro energético.

#### 4.1.6. Lentes Cóncavos y Convexos

Los lentes tienen buenas características transmisoras y mantienen el rayo de luz concentrado. Este sistema no necesita un contenedor. Los inconvenientes que presentan son el alto costo de las lentes y el montaje preciso que requieren. La transmitancia es del 92% y el espacio entre lentes dependerá de la longitud focal de las mismas. Se ha comprobado una eficiencia del 28% para un dispositivo de 14 lentes. (Fig. 59)



**Fig. 59** Utilización de lentes cóncavos y convexos en la azotea del edificio London.

El sistema de lentes cóncavos requiere además de un estudio profundo y sistematizado de las reflexiones de los rayos solares para poder controlarlos y dirigirlos al interior del edificio por medio de áreas de captación.

#### **4.2. Utilización de los Sistemas de Control de Iluminación Cenital Natural Aplicados en Proyectos Arquitectónicos.**

##### **Biblioteca de Mount Angel Abbey Pórtland Oregon. (1967-1970)**

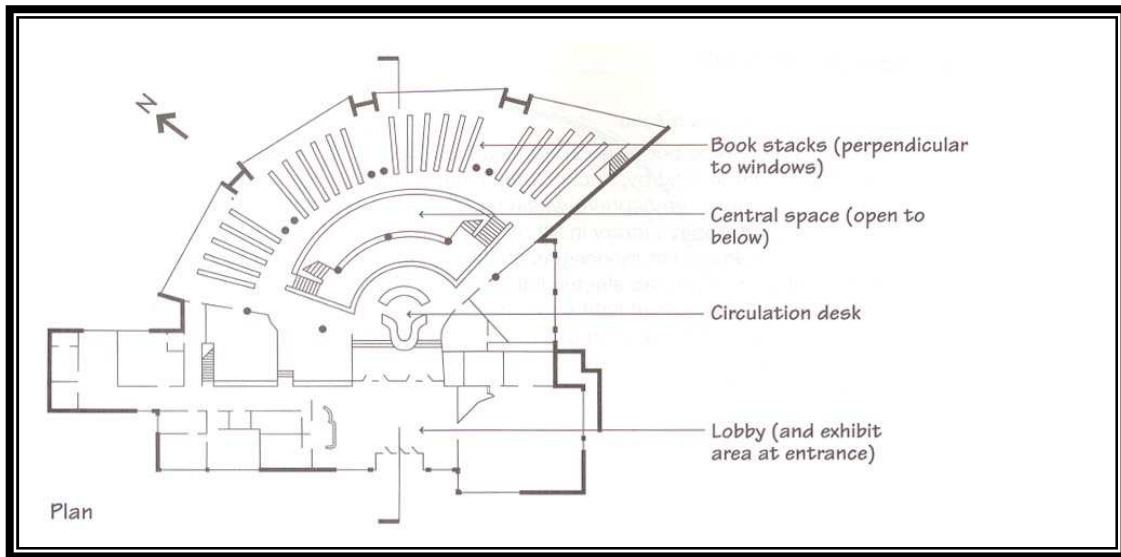
Resalta el caso de las obra del arquitecto Alvar Aalto, que consideró de manera sistemática la iluminación natural, proyectando edificios representativos en donde utiliza con frecuencia elementos de iluminación cenital (Figs. 60-63).



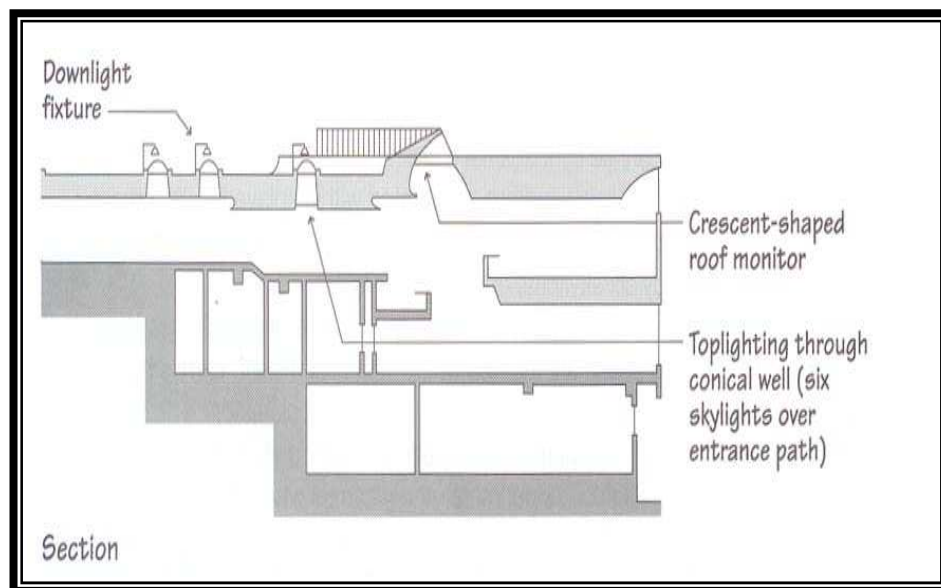
**Fig. 60** Vista del interior de la biblioteca de Mount Angel Abbey



**Fig. 61** Vista del interior del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey.



**Fig. 62** Planta baja del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey,  
**Fuente.** *Architectural Lighting* , 2002, pag 376



**Fig. 63** Corte longitudinal del lucernario de la biblioteca de Mount Angel Abbey.  
**Fuente:** *Olgay V. Architectural Lighting* , 2002, pag 376



**Edificio:**

**Aeropuerto de Stansted, Londres**

Norman Foster 1990.



**Fig. 64** Sistemas de iluminación cenital. Aeropuerto de Stansted, Londres. Norman Foster 1990.  
**Fuente:** [www.geocities.com](http://www.geocities.com)

**Edificio:**

**Reichstag Berlin,** Norman Foster



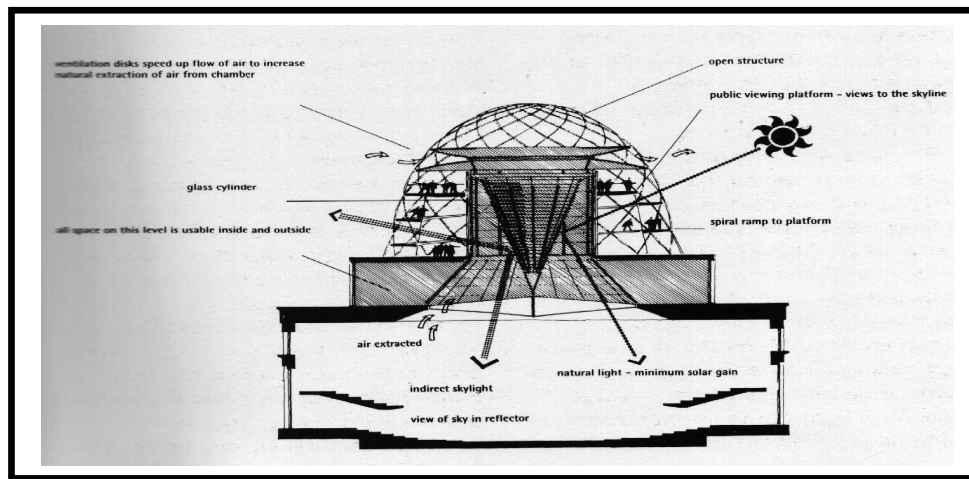
**Fig. 65** Fachada Principal Reichstag Berlin, Norman Foster



**Fig. 66** El interior del Reichstag Berlín, Norman Foster, permite ver la implementación de la luz natural al interior del edificio  
**Fuente:** [www.geocities.com](http://www.geocities.com)



**Fig. 67** El interior de la estructura de techo que contiene elementos de iluminación cenital del edificio Reichstag Berlín, Norman Foster  
**Fuente:** [www.geocities.com](http://www.geocities.com)



**Fig. 68** Detalles de iluminación cenital del Reichstag Berlín, Norman Foster.



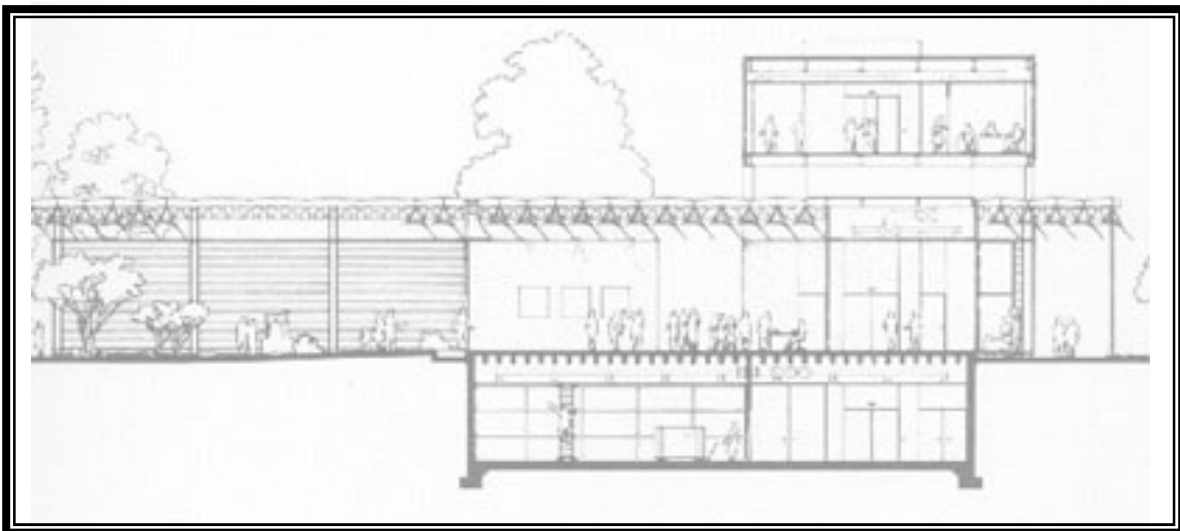
**Edificio:**

**Menil Collection de Renzo Piano**

Renzo Piano han llegado a considerar las variables climáticas y lumínicas como factores prioritarios en la concepción de sus proyectos (**Figs 69-72**).



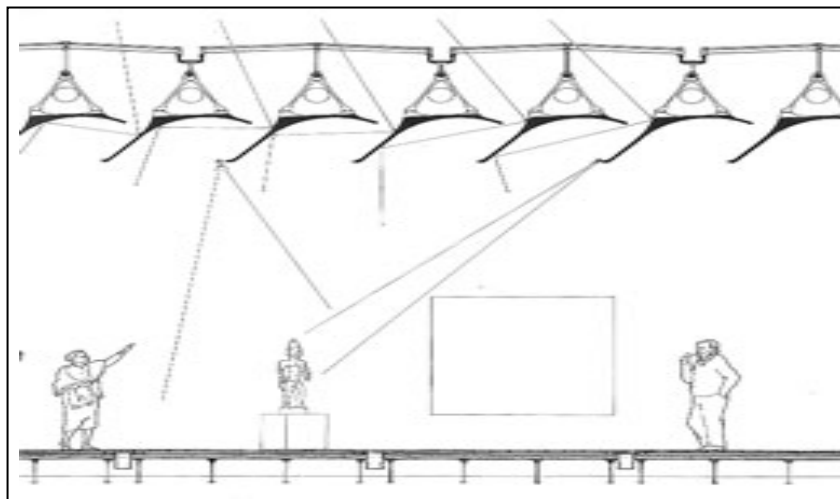
**Fig. 69** Iluminación cenital vista al interior del Menil Collection de Renzo Piano.



**Fig. 70** Iluminación cenital vista en corte longitudinal Museo Menil Collection de Renzo Piano.



**Fig. 71** Iluminación cenital cortes longitudinales del museo Menil Collection de Renzo Piano



**Fig. 72** Proyecciones de la iluminación cenital en el museo Menil Collection de Renzo Piano.

Muchos de los elementos tradicionales mencionados de iluminación natural, siguen siendo utilizados hasta la actualidad, generalmente se debe a la los factores económicos de los usuarios, quienes no pueden adquirir un sistema innovador. Los aspectos culturales, acompañados de los avances tecnológicos asociados a los Intereses económicos, terminan por imponerse con opciones que presentan efectividad, frente a la lógica de la eficiencia.

#### 4.3. Sistemas de iluminación cenital de alta eficiencia

La presente investigación tiene como fin la búsqueda de nuevas alternativas de sustentabilidad dentro de la arquitectura en la línea de confort lumínico, a partir del estudio de “Alternativas de Eficiencia Energética”, como son los sistemas lumínicos de alta eficiencia aprovechando la luz natural.

Es decir que se busca el ahorro energético reduciendo el empleo de luz artificial mediante la utilización diurna de la luz natural, en un espacio, que beneficia al usuario a partir del confort visual y lumínico. (Fig. 73)



**Fig.73** Confort Visual por medio de ductos

Dentro de las estrategias de ahorros energéticos, la luz natural, fuente de energía renovable para la iluminación de espacios interiores, es representativa de un elemento único como es el sol para crear las condiciones visuales adecuadas o bien en combinación con iluminación artificial, cuando los horarios de uso o las instalaciones del edificio lo hacen necesario.

El uso de la luz natural cenital guiada hacia el interior de la edificación mediante ductos lumínicos, colocados en la techumbre; permitirá el estudio de los diferentes

dispositivos exteriores e interiores de iluminación cenital que se explorarán en cuanto a su eficiencia energética, para dar un confort lumínico a los usuarios obteniendo un mayor desempeño dentro de sus actividades en el interior de la edificación. (Fig. 74 y 75)



**Fig.74** Distribución espacial de los ductos lumínicos



**Fig.75** Iluminación con ductos lumínicos en una bodega

Las características que se deberán considerar son la orientación del edificio con respecto a la incidencia de luz natural directa, considerando la normatividad existente, así como la unificación de los niveles lumínicos, es decir, el control del deslumbramiento para obtener el confort lumínico.

#### 4.3.1. Ductos Lumínicos

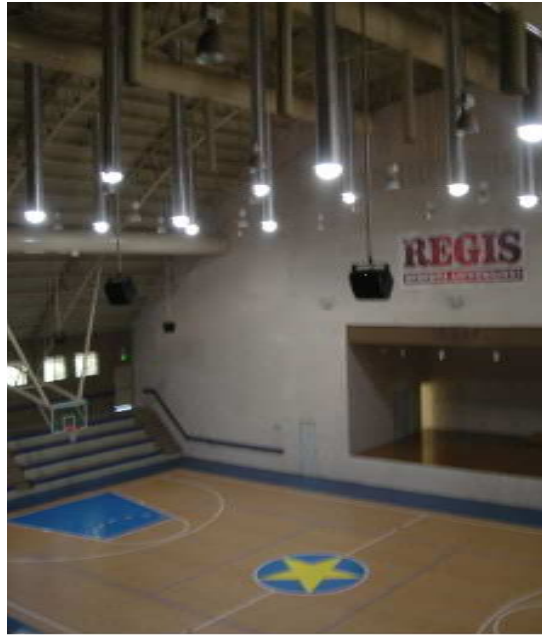
En cuanto a los términos de los componentes que giran en torno a la iluminación cenital, algunos de ellos pueden no ser utilizados o incluso llegar a tener un significado distinto. Por ello la importancia de identificarlos a partir de su definición:

Es un sistema de iluminación natural que capta la luz del sol mediante cúpulas situadas en la cubierta de los edificios y la transportan varios metros hacia el interior utilizando un conducto altamente reflectante. El sistema utilizado para este aprovechamiento de la luz natural es un elemento captador de luz, situado en la azotea del edificio, que la transmiten por reflexión la luz solar hasta el interior.

En horas o días de insolación aumenta la captación; la iluminación se completa con la aportación de luz artificial (en periodos de uso nocturno), pero solamente en la proporción necesaria para cubrir el déficit de luz natural. El sistema se autorregula automáticamente a niveles de iluminación natural. (Serra R. 2000)

Esto permite iluminar espacios oscuros incluso cuando no estén directamente bajo la cubierta, pues también son utilizados para la transportación o distribución de la luz natural, para minimizan las pérdidas de la misma, ya captada.

Existen también otros términos para nombrarlos, como tubos solares, *Light tubes*, *solar pipes*, *daylightin pipes*, *solar Light piper*, *tubular skylight* y conducto de luz. (Fig. 76)



**Fig. 76** Utilización de ductos lumínicos en un gimnasio de duela, Monterrey.

En la actualidad existen especialistas alrededor del mundo, pues en todo el orbe se están desarrollando proyectos arquitectónicos que incorporan el uso de los ductos lumínicos, ya que con ellos se mejora el confort lumínico y se realiza un considerable ahorro energético gracias al aprovechamiento de la luz solar.

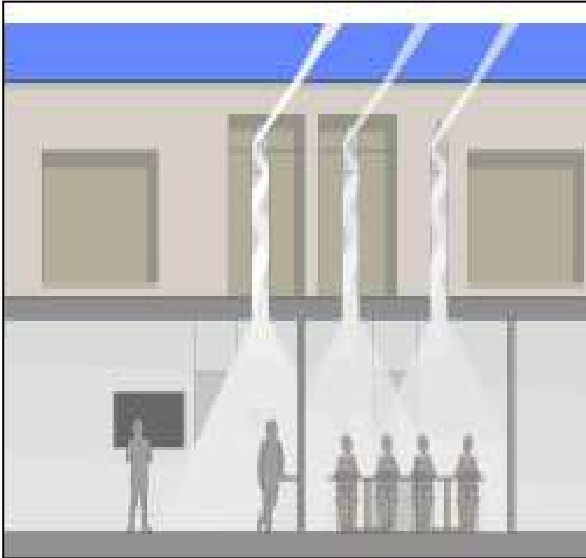
#### **4.3.2. Ejemplos Representativos de Obras Construidas con Ductos Lumínicos**

##### **Biblioteca Municipal de El Masnow Barcelona.1999**

Realizado por Serra y Sanmartin, 1999

##### **Descripción del Proyecto:**

El objetivo del proyecto era demostrar la viabilidad técnica de utilización de ductos lumínicos como sistemas eficientes para disponer de iluminación natural en espacios interiores. El proyecto se desarrollo para satisfacer condiciones lumínicas óptimas, combinando la iluminación natural y la iluminación artificial para uso nocturno. (Fig. 77-79)



**Fig. 77** Se muestra la iluminación natural al interior a partir de los ductos lumínicos.



**Fig. 78** Los ductos solares captan y transportan la luz del sol hasta el aula sin ventanas situada bajo la cubierta del edificio.



**Fig. 79** Las cúpulas optimizan la captación del sol evitando un exceso de insolación.

**Aula de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona,**  
**Universidad de Cataluña. 2004**

Realizado por Cayuela Soria, 2004

**Descripción del Proyecto:**

Tiene una abertura perimetral de falso techo a través del que penetra luz por las paredes (**Fig. 80**). Consta de dos ductos lumínicos para optimizar el transporte de la luz hasta el interior del aula iluminando las paredes laterales, sin producir deslumbramiento excesivo ni contraste lumínico, respetando su concepción original.



**Fig. 80** Espaciamento de ductos en el techo

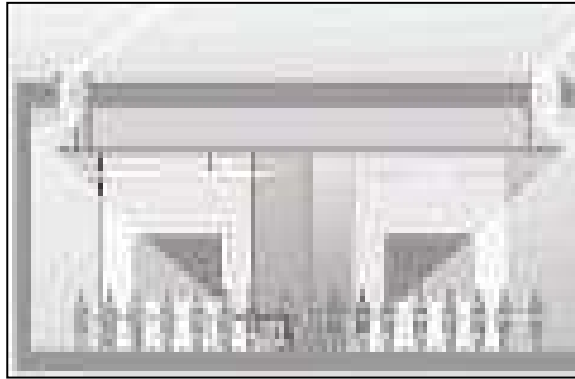
La luz de los conductos baña las paredes laterales del aula limpiando todo el espacio, consiguiendo una conexión con el exterior a través de la luz natural. (**Fig. 81**)



**Fig. 81** Interior del aula



La luz natural se capta a través de los ductos lumínicos que aprovechan las aberturas en la cubierta. Los ductos orientados al sur permiten una captación óptima de los rayos, evitando la insolación durante los meses de verano. (Fig. 82).



**Fig. 82** Corte longitudinal

El conducto del ducto lumínico por la parte interna permite la reflectividad de los rayos de la luz natural con una reflectividad del 99%. Esto permite que los rayos solares puedan bajar hasta el área a iluminar sin que se pierdan la luminancia, por las múltiples inter-reflexiones que esta tiene en su interior. (Fig. 83)



**Fig. 83** Parte interior del ducto reflector en la parte inferior

## **Hospital San Juan de Dios en Esplugues de Llobregat,**

Realizado por Llongueras y Clotet, 2005

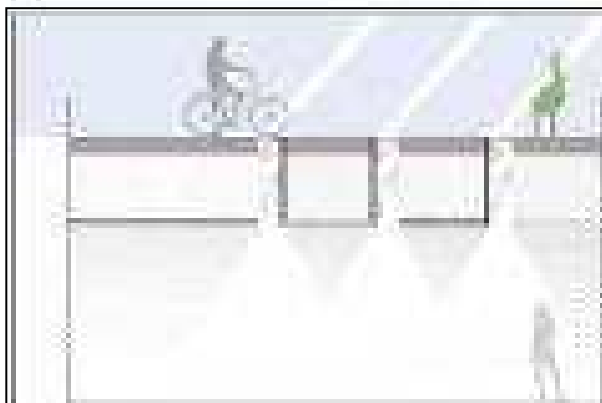
### **Descripción del proyecto:**

La plaza sirve como entrada principal al Hospital San Juan de Dios, en donde se encuentran subterráneas las instalaciones y las salas de radiología. Se tomó en cuenta para la colocación de ductos lumínicos en el piso, que el diseño de las cápsulas fuera de uso rudo, por el movimiento que se lleva a cabo en la plaza. (Fig. 84).



**Fig. 84** Plaza Principal, ducto colocado a ras de piso

El paso de personas por la plaza genera un juego de luces y sombras al interior, lo que contribuye a establecer una conexión de este espacio con el exterior a través de la luz natural. (Fig. 85)



**Fig. 85** Corte longitudinal del funcionamiento de ductos en un estacionamiento publico

Las cúpulas tienen un diseño que soporta el peso de peatones y vehículos. Se considero un cristal templado y laminado de 13.5 mm., el cual puede resistir el paso de las personas, dada su localización en la plaza central (**Fig. 86**).



**Fig. 86** Detalle de la cúpula

El ducto ilumina con luz natural el pasillo situado bajo la plaza. A partir de la iluminación natural dirigida se pueden tener espacios que antes se consideraban oscuros con confort lumínico adecuado; esto permite al usuario con luz de día. El pasillo con iluminación natural (**Fig. 87**) se complementa con luz artificial, utilizada sobre todo en condiciones nocturnas.



**Fig. 87** Iluminación en el pasillo.

**Lucernario de alta eficiencia con sistema de control solar para iluminar el edificio municipal del ayuntamiento de Castellolí, Barcelona.**

Realizado por Agbar ,2006

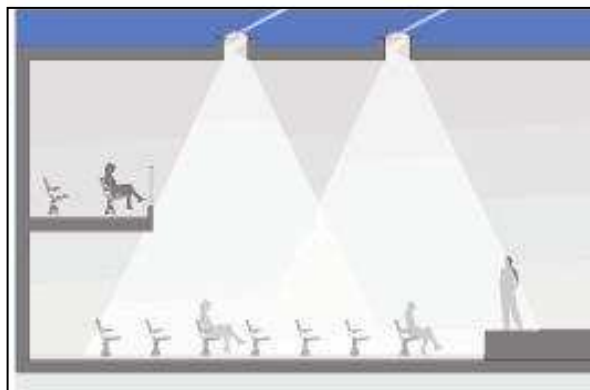
**Descripción del Proyecto:**

Responde a las necesidades de disponer un conjunto de lucernarios capaces de reproducir la luz natural al interior de una sala de usos múltiples, en el que era necesario un control de la iluminación natural de forma continua y sencilla para el usuario. (Fig. 88)



**Fig. 88** Fachada principal y corte transversal al interior

Las instalaciones tienen iluminación cenital óptima controlada por un mecanismo eléctrico, que permite tener la iluminación artificial como sistema de iluminación nocturna o cuando las condiciones de cielo no permiten la adecuada iluminación; esto comporta un costo-beneficio en cuanto al ahorro del consumo de energía, según puede verse en el corte del funcionamiento del sistema (Fig. 89)



**Fig. 89** Corte longitudinal.

El diseño de los lucernarios de la cubierta no es solo funcional sino también cubre las necesidades de interacción arquitectónica, pues se colocó una cúpula parabólica, bajo la cual se instaló un sistema de hojas horizontales motorizadas. (Fig. 90)



**Fig. 90** Detalle de la cubierta del lucernario

## **Iluminación del Parque y el sótano sede de la empresa Montblanco en el Poblenou, Barcelona**

Realizado por Riera V 2005.

### **Descripción del Proyecto:**

Bajo esta plaza reencuentran una serie de espacios en el sótano con diversos usos como son: oficinas, almacenes y cajones de estacionamiento, en los que la iluminación natural se cubre mediante 11 ductos lumínicos.



**Fig. 91** Detalle de la cubierta del lucernario

Se agrupan en dos áreas. Cinco de ellos se colocaron sobre el paso de dos oficinas, elevando la cúpula de captación de luz hasta una altura de 2.00 m, sobre el pavimento, quedando la cúpula de cristal protegida de golpes. El otro grupo de seis conductos se situó en el interior del lago artificial a través de los cuales entra la luz del sol a los espacios subterráneos. Como resultado se tienen espacios de trabajo con confort lumínico mediante la luz natural.



**Fig. 92** Detalle de la cubierta del lucernario.

La cúpula de cristal templado se integra en el interior con la cámara aislante, para optimizar la captación de luz durante los meses de invierno, evitando las condensaciones. (**Fig. 93**)

El conducto reflejante transporta la luz captada por la cúpula gracias a su coeficiente reflectante del 98%, permitiendo una gran entrada de luz. La forma del ducto lumínico es un cilindro alargado de aluminio, al interior por una película de alta reflectancia. (**Fig. 94**)



**Fig. 93** Detalle de la cubierta del ducto lumínico en techos.



**Fig. 94** Detalle de la cubierta del ducto lumínico.

En el interior la luz es transportada varios metros por debajo de la cúpula a través de los difusores proporcionando una agradable iluminación natural a varios de los espacios subterráneos situados bajo la plaza. (Fig. 95)



**Fig. 95** Detalle del ducto lumínico al interior del edificio.



## Las cúpulas del Fugee Harbour, Taiwan.

Realizado por el Arq. Vicente Gualart, 2005.

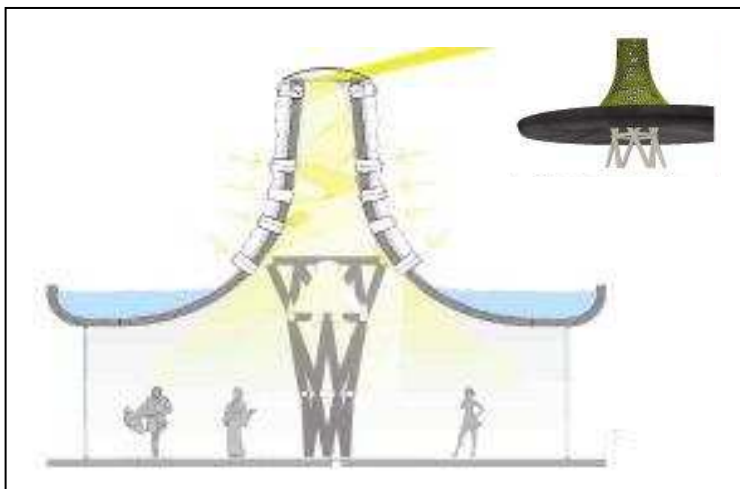
### **Descripción del Proyecto:**

Es un conjunto de elementos que forman una gran estructura celular, generando espacios autónomos a la vez que integrados en una misma unidad. Cada célula se ilumina cenitalmente mediante el sistema de cúpulas de alto rendimiento y conductos reflectantes para transportar la luz natural. (Fig. 96)



**Fig. 96** Vista del interior de la cúpula del museo

Las cúpulas, además, sirven de regulador térmico al permitir la ventilación natural mediante un sistema motorizado programable que las eleva permitiendo la circulación de aire. (Figs. 87 y 98)



**Fig. 97** Corte de la cúpula de iluminación



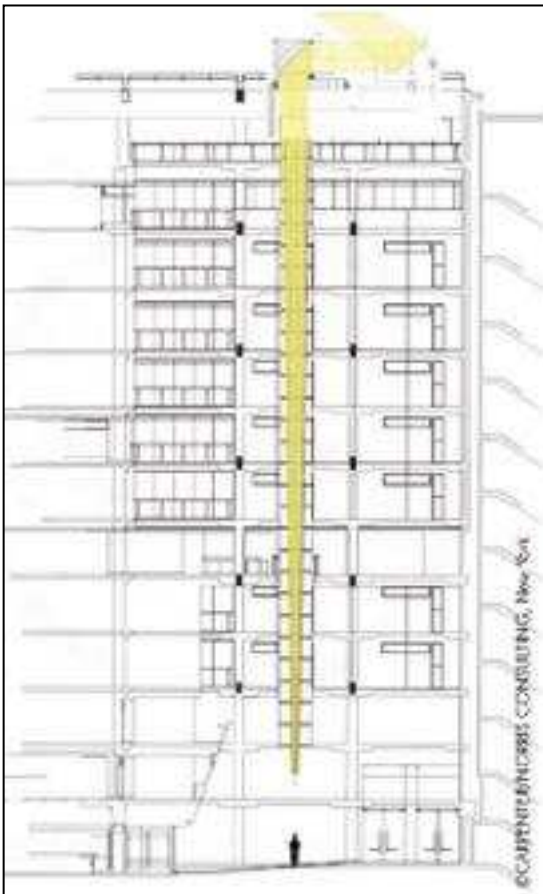
**Fig. 98** Difusor con reflectancia 99%

## Solar Light Pipe, Washington DC

Realizado por Morgan, Lewis, Brockius 2006.

### **Descripción del Proyecto:**

Se utilizó un ducto lumínico para un edificio en la parte central del mismo. Este dispositivo lleva iluminación natural al patio central con distribuciones laterales a oficinas durante el día. Es un mecanismo que permite que la penetración de la luz sea constante por múltiples reflexiones a lo largo de la trayectoria del *light pipe*; este diseño es innovador ya que permite el ahorro de energía durante el día para el área central.



**Fig.99** Corte del Edificio a nivel de ductos



**Fig.100** Vista del ducto lumínico desde el Patio

## **Bodega en Inglaterra**

Realizado por Dr. Carter 2003

### **Descripción del Proyecto:**

La utilización de ductos lumínicos en grandes áreas es recomendable. En cuanto a su funcionamiento está delimitado por un análisis previo del área a iluminar, como es el caso de una bodega localizada en Gran Bretaña. El proyecto consta de 80 ductos lumínicos para iluminar una bodega de 10 metros de alto. (Figs.101 y 102).



**Fig. 101** Ejemplo de ductos lumínicos al interior de una bodega



**Fig. 102** Ejemplo de la distribución de ductos lumínicos en el techo

## **Escuela de Kingsdale en Londres**

Realizado por Rijke Marsh Morgan Architects

Se realizó la remodelación de un atrio de los años 50's a partir de las nuevas consideraciones de diseño que permiten tener espacios con mayor confort, considerando la ventilación para el verano y al mismo tiempo con facilidad de calefacción en invierno.

El resultado es un nuevo espacio a partir de un gigante octaedro que permite que la iluminación natural penetre al interior gimnasio; así, el espacio sobrio se convierte en un área de recreación para jóvenes con condiciones de iluminación adecuadas para la realización de actividades deportivas.

Como se puede observar al interior del mismo, se pretende que las inclinaciones de estructura y las ventanas colocadas en la parte alta del edificio permitan la entrada de la iluminación natural a través del día por la parte lateral del edificio. Dependiendo de la hora del día y la posición del sol, los rayos solares que penetran se desplazan, dando un sensación de movimiento de luz; también resulta en la ausencia de iluminación artificial durante el día. (Fig.103 y 104)



**Fig. 103** Interior del gimnasio por la mañana  
Fuente: [www.the-coolhunter.net](http://www.the-coolhunter.net)



**Fig. 104** Interior del gimnasio por la tarde  
Fuente: [www.the-coolhunter.net](http://www.the-coolhunter.net)

Durante la horas nocturnas se hace uso de la iluminacion artificial, para permitir el desarrollo de las actividades deportivas. Esto significa un importante ahorro de energia eléctrica debido al buen aprovechamiento de iluminacion natural que se tiene durante el día (**Fig. 105**).



**Fig. 105** El interior del gimnasio con iluminación eléctrica

**Fuente:** *www.the coolhunter.net*

Desde el punto de vista de la iluminación, los edificios en la actualidad deben ofrecer condiciones de confort lumínico, para sus ocupantes, aprovechando al máximo la luz natural e integrando sistemas de energía eléctrica con alta eficiencia energética, y obtener un ahorro de energía significativo.

## CAPÍTULO V

# CONDICIONES LUMÍNICAS EN MÉXICO



CIE.sky

## CAPITULO V

### CONDICIONES LUMÍNICAS

#### 5.1. Condiciones Lumínicas en la Ciudad de México

De la cantidad de energía que emite el Sol, a la órbita de la Tierra llegan a ésta 1353 *watts* por  $m^2$ . Es decir, cuando la atmósfera está limpia la superficie de la Tierra recibe aproximadamente un *kilowatt/hora* de potencia por cada metro cuadrado.

Debido a su relativamente baja latitud ( $15^{\circ}32^{\circ}$  N) y a su clima, México recibe energía solar de alta calidad en más de la mitad de su territorio. La superficie del territorio nacional es de 1,958,201  $km^2$ , de la cual el 20% se considera es ocupada en el cultivos agrícolas. Si se considera la centésima parte de dicha superficie agrícola (4,000  $km^2$  aprox.) se tendría un potencial solar de 4 millones de *megawatts*.

Si además se plantean sistemas termo-solares de potencia con eficiencia baja (un 10% de eficiencia), entonces se podría tener en México una potencia solar de 400,000 *kwatts*, lo cual corresponde a poco más de 14 veces la potencia para producir energía instalada en México. Con estos recursos solares es evidente la necesidad de investigar y desarrollar tecnología que aproveche dicha energía solar, a partir de nuevas alternativas de captación de iluminación pasiva del cielo. Es necesario conocer las características del cielo.

#### 5.2. Tipos de Cielos

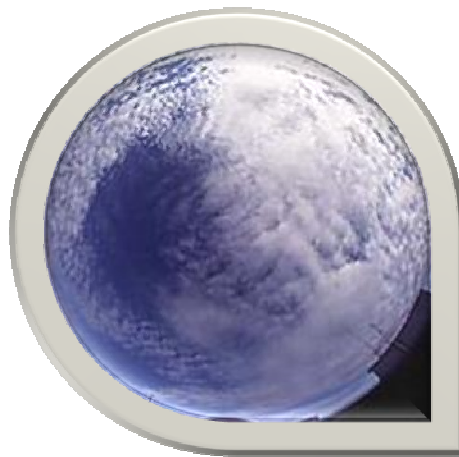
La fuente primaria de luz natural es el Sol. Desde el punto de vista de la iluminación diurna de los edificios, la fuente de luz considerada para el cálculo es la bóveda celeste, que incluye la luz solar directa sobre los planos de trabajo por su gran capacidad lumínica, generadora de contrastes excesivos y causante de



deslumbramiento. Es importante considerar el ingreso de luz directa del Sol, mediante la difusión y reflexión de los rayos solares hacia los interiores. Según las características locales de la bóveda celeste las estrategias de diseño deben considerar el tipo de cielo en el cuál se desarrollan (Serra, 1995). (Tabla 9)

Clasificaciones de Cielos	Cd/m <sup>2</sup>
Cielo Cubierto.	6000
Cielo Cubierto Uniforme.	8000
Cielo Claro.	9000
Cielo Parcialmente Despejado.	5500
Cielo Nublado.	2000
Cielo Artificial.	2200

**Tabla 9** Clasificación de cielos en relación a la iluminancia que producen.



**Fig. 107 Cielo en México**  
Fuente: [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

*“Desde el punto de vista de sus características distintivas, el cielo puede ser descrito por su distribución de luminancias, lo que permite su utilización en los cálculos y el análisis de sus efectos en el interior de un local.”* (Patín, 1994)



Siempre que se mire, el cielo tendrá una apariencia distinta. Nunca es el mismo, constantemente cambia. La presencia y desplazamiento de nubes, el desplazamiento del Sol, la combinación de ambos factores. Aunque interesantes, estos efectos visuales hacen difícil crear una descripción exacta o incluso los modelos matemáticos del cielo. En el uso de la arquitectura es necesario poder modelar el cielo para planear la intensidad de la luz del día de edificios con precisión.

La presente tabla muestra los niveles de iluminación de luz natural directa, indirecta y difusa que presenta el cielo en distintas condiciones de nubosidad (**Tabla 10**).

Tipo de iluminación	Niveles de iluminancia.
Niveles de iluminación luz directa	<b>50,000 lux</b> en condiciones de cielo despejado, sol brillante y cielo azul intenso, con menos del 30% de nubosidad.
	120,000 lux sol directo y brillante y cielo azul intenso, con menos de 15% de nubosidad.
Niveles de iluminación indirecta y luz difusa	5,000 lux para un cielo totalmente nublado, con 100% de nubosidad y con un sol no visible.
	40,000 lux con un cielo parcialmente nublado con 30% a 70% de nubosidad.

**Tabla 10.** Niveles de Iluminancia directa, indirecta y difusa. Varios autores

### 5.2.1. Cielo Cubierto

Definido por la CIBSE (estandarización británica), “cielo cubierto” presenta un 90% de su aspecto cubierto por nubes, con sol no visible. Otras clasificaciones incluyen en este tipo de cielo una proporción de nubes que oscila entre el 70 y el 100%. Esto resulta ser más ajustado a la realidad ya que la luminancia cambia con la altura, hasta el grado de que el cenit se considera 3 veces más claro que el horizonte. Una fórmula, la fórmula para la distribución de luminancia para cielo cubierto, la proporciona Moon Spencer:

$$L = L_z (1 + 2 \sin \theta)^3 \quad \dots\dots\dots \text{(Fórmula 14)}$$

donde:

**L** = luminancia a una altura del ángulo sobre el horizonte

**L<sub>z</sub>** = luminancia en el cenit.

En este caso se puede considerar la luminancia en el cenit (**L<sub>z</sub>**) respecto de la iluminancia media del cielo uniforme. El valor de la iluminancia del cielo se da según la orientación que se presenta no solamente con el cielo claro o nublado sino también con el cieloabierto. Los estándares del CIE, dice que el cielo es una variante algo anhelada del cielo claro: el Sol no es tan luminoso como con el cielo claro y los cambios de brillo no son tan drásticos. (Fig. 108)



**Fig. 108** Cielo Cubierto  
Fuente: [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

### 5.2.2. Cielo Cubierto Uniforme

Está definido por la CIE como el:

*“[...] caracterizado por una luminancia uniforme que no cambia con la altitud o el acimut.”* (Commision Internationale d’Eclairage, 2006)

Se da con iluminancia constante para todas las orientaciones y alturas. En este modelo la relación entre la luminancia media del cielo y la iluminancia en un plano horizontal sin ninguna obstrucción será:

$$E_h = (\pi) L \quad \text{.....} \quad \text{(Fórmula 15)}$$

donde:

$E_h$  = iluminancia sobre plano horizontal (lux)

$L$  = iluminancia media del cielo  $\text{cd/m}^2$

$(\pi) = 3.1416$

La fórmula se utilizaba en los inicios de los estudio de los cielos por primera vez para hacer los cálculos a mano o con tablas de características similares de los días; actualmente ya no se usa.



**Fig. 109** Cielo Cubierto Uniforme  
**Fuente:** [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

Una simplificación de este tipo de cielo es conocida como cielo de iluminancia uniforme distribuida, que supone una capa de nubes blancas de espesor constante y una atmósfera de turbidez constante; por lo tanto, su distribución es constante y uniforme.

### 5.2.3. Cielo Claro

Está definido por el CIE como:

*“La luminancia del CIE es que el cielo claro tiene dos variaciones sobre la altitud y el azimut . Es más luminoso alrededor del Sol y más oscuro en situación opuesta él. El brillo del horizonte queda entre esos dos extremos”* (Comisión Internacionales d’Eclairage, 2006).

La CIBSE (estandarización británica) lo caracteriza como un cielo no obstruido por nubes y la IESNA (estandarización norteamericana) como un cielo no obstruido en un porcentaje menor al 30%. En todos los casos se trata de un bóveda celeste donde el Sol no está obstruido por las nubes. Su relación de luminarias es de 1 en el horizonte a 0.5 en el cenit.

En un cielo claro la parte del cielo más brillante se encuentra en el Sol y la más oscura (azul intenso) es la que se encuentra a 90° del mismo.

La mejor estrategia será considerar sólo la incidencia directa del Sol, con intensidad de orden de  $100,000\text{cd/m}^2$  y la posición que corresponda según la época del año y la hora. Por otra parte, se considera como fuente indirecta el resto de la bóveda celeste y las reflexiones en otras superficies del suelo o de otros elementos exteriores. Para el caso de la bóveda celeste, en el cielo claro la luminancia decrece al alejarse de la posición del Sol.

$$L_a = E_n r (\pi) / T \dots\dots\dots \text{(Fórmula 16)}$$

donde:

$L_a$ = Iluminancia de alvéolo

$E_n$ = iluminancia que reciben las superficies ( que puede considerarse de 100,000 *lux* con el cielo claro).

$r$ = coeficiente de reflexión de las superficies (valor típico de 0.2 que puede subir hasta 0.7 en superficies claras).

$$(\pi) = 3.1416$$

Como referencia, un cielo claro puede compararse con el de un día común en la Ciudad de México (Fig. 110).



**Fig. 110 Cielo Claro**  
Fuente: [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

#### 5.2.4. Cielo Parcialmente Despejado

Con la presencia estacional del Sol alternada por periodos de nubosidad variable (climas templado húmedo y cálido húmedo), la iluminancia es una superficie horizontal exterior no obstruida en este tipo de cielos. Puede variar entre 100,000 *lux* (sin nubes)

y 10,000 con nubes interceptando el Sol. Este tipo de cielos es el más difícil de predecir por la enorme variabilidad que puede presentar.



**Fig. 111** Parcialmente Despejado

**Fuente:** [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

#### **5.2.5. Cielo Nublado**

Entre el cielo claro y cielo cubierto debemos hacer la hipótesis correspondiente a una situación entre las consideradas en los casos anteriores. Si se conocen las dos situaciones límites, no es necesario estudiar el cielo nublado, sólo ayuda a conocer su frecuencia para cada época del año.

Está definido por el CIE como:

*“La luminancia de los estándares del CIE del cielo nublado se dan con los cambios de altitud. Es tres veces más luminoso en el cenit que cuando está cercano del horizonte.”* (Comission Internationales d’Eclairage, 2006).

Cuando el cielo está nublado, el cenit es tres veces más luminoso que el horizonte. Si se considera un cielo uniforme a modo de simplificación para los cálculos, en este caso las luminancias provenientes del cielo “uniformemente nublado”.



**Fig. 112 Cielo Nublado**  
**Fuente:** [www.CIE.sky.org.html](http://www.CIE.sky.org.html)

El cielo nublado se usa para medir factores de la luz del día. Pueden ser medidos modelos en condiciones semejantes al cielo artificial. Existen innumerables distribuciones de cielos posibles y solo tres de ellos pueden ser descritos por una fórmula matemática; por otra parte los valores de luminancia son determinados estadísticamente.

#### **5.2.6. Cielo Artificial**

El cielo artificial permite realizar mediciones de intensidad y distribución de iluminación natural, en espacios interiores de maquetas de edificios existentes y de proyectos en desarrollo.

El cielo artificial simula los estándares del CIE en cuanto a cielo nublado. Los modelos arquitectónicos colocados para su estudio permiten observar el comportamiento de la luz mediante mediciones que permiten verificar de manera rápida y precisa las predicciones, con ayuda de luxómetros.

Los modelos son utilizados para realizar predicciones de la cantidad de luz que incide en los edificios. Los valores de luminancia e iluminancia son iguales en escala a un modelo real si:

- La incidencia de luz es igual.
- Las propiedades de los materiales del modelo son iguales.
- Las proporciones son iguales.
- La transmitancia de los materiales es semejante a la realidad.

Éste es un método absolutamente confiable en la predicción en el caso de situaciones inusuales, de geometrías complejas, de ventanas obstruidas o en la prueba de nuevas alternativas de control solar. Los estudios del modelo tridimensional pueden tener condiciones similares al exterior con las limitaciones impuestas por variaciones del cambio de clima tiempo. Hoy en día, los cielos artificiales pueden simular no sólo las distribuciones definidas por el cielo cubierto estándar con la luminosidad adecuada. En muchos casos, el sol artificial está presente. El proceso de diseño de la luz del día requiere mucho trabajo, aunque éste puede mejorar el rendimiento energético del edificio en su totalidad y generar una sustentabilidad energética que impacte en relación al costo-beneficio del usuario.

Algunas universidades y centros de investigación alrededor del mundo que cuentan en sus instalaciones con cielos artificiales regulados según las normas del CIE, en los cuales se consideran los estándares de cielo nublado o normalizado, son:

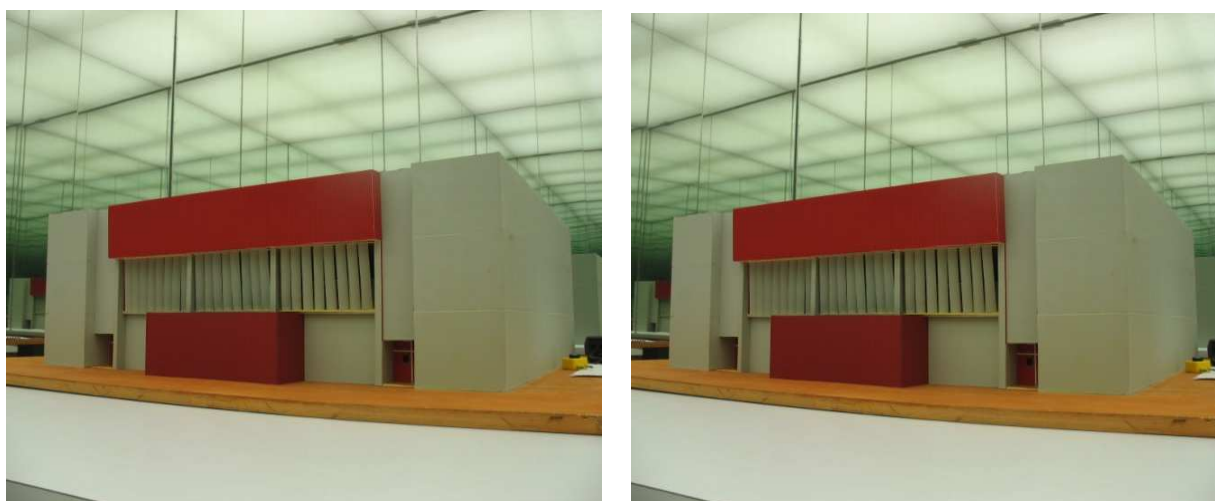
1. Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la *Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco*.
2. Centro de Investigación Hábitat y Energía de la FADU-UBA.
3. Laboratorio de investigación en Bartenbach Lichtlabor, Alemania.



4. *UCD Energy Research Group, Universidad Granfield. UK.*

**1.- Laboratorio de Arquitectura Bioclimática, en la *Universidad Autónoma Metropolitana, campus Azcapotzalco.***

Tiene su cielo artificial en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática. Fue construido en 1998 por el Dr. José Roberto García Chávez. Se construyó con base en las normas del CIE como cielo normalizado o nublado. Permite realizar pruebas en condiciones de cielo nublado a 12000 *lux*, reflejando las condiciones reales en los modelos tridimensionales que permiten ver el brillo, la cantidad de luz incidente y el funcionamiento en su caso de diversos dispositivos de control Solar (**Figs. 113 y 114**).



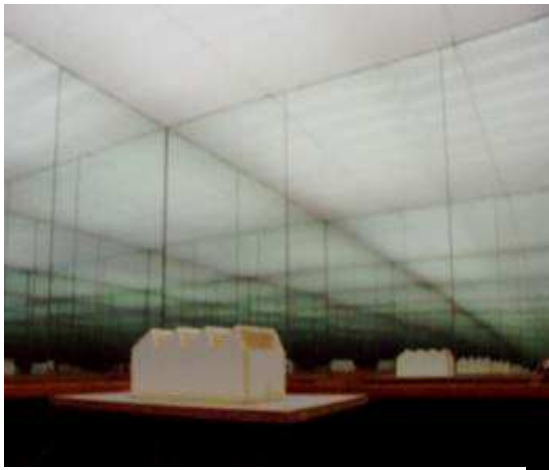
**Fig. 113 y 114** Cielo Artificial en el laboratorio de Arq. Bioclimática de la UAM Azc.

**2.- En el Centro de Investigación Hábitat y Energía de la FADU-UBA**

El cielo artificial fue construido por J. Martin Evans en 1997. En él se simulan las condiciones de iluminación más desfavorables, las de un cielo cubierto. El modelo teórico utilizado para su construcción es el propuesto por el CIE (Comité Internacional

de l'Eclavage), conocido como '*Standart Overcast Sky*' o Cielo Nublado Normalizado (CIE, 1970).

El cielo artificial está conformado en la parte superior por lámparas incandescentes, acomodados en uno tras otro en bases metálicas para obtener una mayor reflexión de la luz que incidirá en el cuarto del cielo artificial. (Figs. 115 y 116)



**Fig.115.** Cielo artificial del centro de investigación Habitat y Energia de la FADU



**Fig.116.** Parte superior del cielo artificial del centro de investigación Habitat y Energia de la FADU

### **3.- Laboratorio de Investigación en Bartenbach Lichtlabor, Alemania.**

En él es se simula cualquier posibilidad de luz de día, dentro del cielo artificial. El cielo se puede ajustar en términos de brillo, distribución de luz, temperatura de color y luz de sol de una manera perfecta. Fue rediseñado en el 2006, permitiendo tener posibilidades únicas de combinación y experimentación. El cielo artificial permite tener diferentes simulaciones de cielo por medio de un control computarizado, desde un cielo despejado normalizado hasta un cielo nublado normalizado.

El cielo artificial permite realizar mediciones a modelos tridimensionales en diferentes condiciones de cielo normalizado, donde el monitoreo de la intensidad

lumínica al interior de los modelos se puede registrar con los mismos parámetros de intensidad, brillo y deslumbramientos mediante la utilización de equipo de medición como los luxómetros. (Figs.117 y 118)



**Fig.117** Cielo artificial simulación de modelo tridimensional en cielo despejado  
**Fuente:** *Laboratory of Bartenbach Lichtlabor*



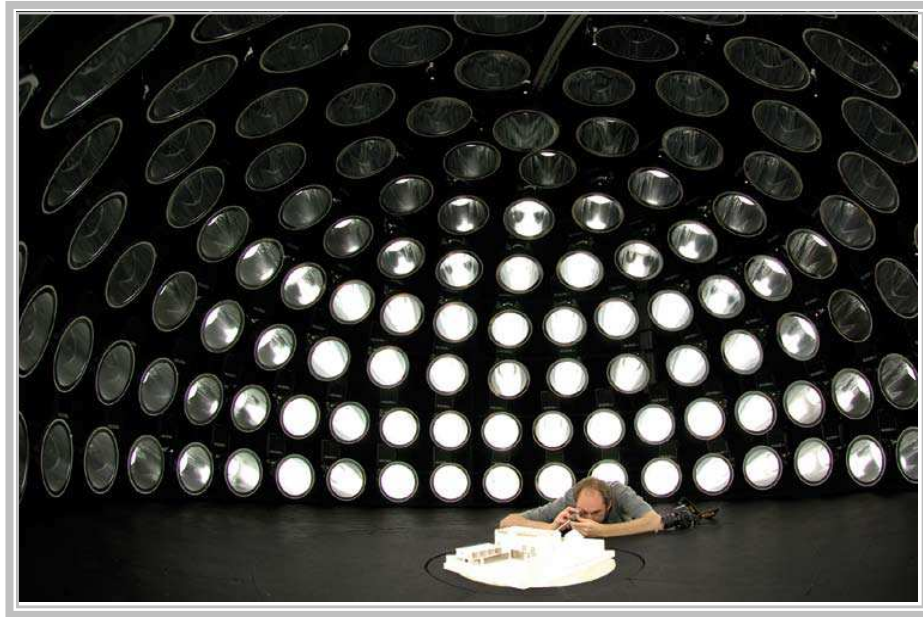
**Fig.118** Cielo artificial simulación de modelo tridimensional en cielo nublado  
**Fuente:** *Laboratory of Bartenbach Lichtlabor*

#### **4.- UCD Energy Research Group, en Cranfield University, Reino Unido.**

El cielo artificial está compuesto por 145 lámparas individuales controladas que permiten simular distribuciones específicas de la luminosidad el cielo para estudiar la luz de día y luz de sol simulada.

El creador del cielo artificial fue el Dr. Paul Kenny, director del *UCD Energy Research Group*, en el 2008. Utiliza una cámara con una lente de ojo de pescado adaptada a una cámara fotográfica científica para capturar fotografías de los modelos tridimensionales. La cámara fotográfica toma cada cinco segundos éstos para registrar una serie de tiempos en el cielo artificial que alimente una base de datos.

El cielo que se compone de 145 lámparas individuales de CFL controladas por una computadora como un proyector de teatro para mímicos. El Sol también está en el instituto urbano de UCD. Esto significa que UCD será una de los primeros centros de investigación en que se realicen estudios bajo secuencias verdaderas registradas y repetibles del cielo. (Fig. 119)



**Fig. 119** Cielo artificial de Multi lámparas con simulador de Sol.  
**Fuente:** *UCD Energy Research Group*

La ventaja de este cielo artificial es que permite realizar pruebas semejantes en condiciones de distintos cielos, por ser controlado por una computadora para simular cielos reales variables y con luz de sol. El monitoreo se puede repetir el número de veces que se necesite con la misma simulación e intensidad de sol; esto es muy funcional para el monitoreo de modelos tridimensionales.

La simulación al interior de las maquetas a escala permite ver en tercera dimensión condiciones reales tales como tipo de luz, brillo, etcétera, con características superficiales verdaderas. Este método es superior a cualquier simulación digital disponible.

### **5.3. Aplicabilidad en la Toma de Datos**

El tipo de cielo y su correspondiente distribución de luminancias, característico del lugar donde se emplazara una construcción, puede ser establecido con precisión mediante el análisis de la frecuencia de ocurrencia de cielo claro o con nubes, a partir de los datos meteorológicos locales, pudiéndose completar la información con respecto a la distribución de luminancias con mediciones locales del cielo (Pattini, 1994).

La toma de datos sobre este tema es difícil, pero a menudo los servicios meteorológicos proporcionan porcentajes de días despejados, medio nublados y nublados para cada mes del año, dato que puede usarse como buena aproximación de las condiciones del cielo en un lugar determinado.

## 5.4. Síntesis de los Datos de La Ciudad de México

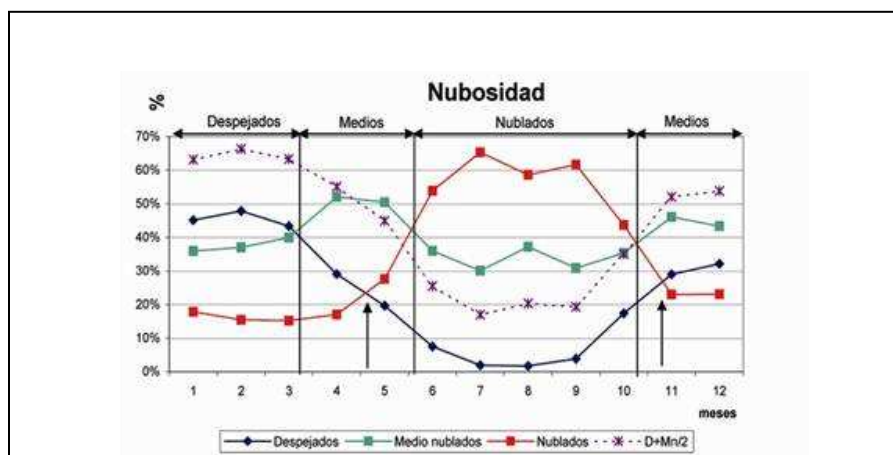
### 5.4.1. Datos del Tipo de Cielo de la Ciudad de México (NUBOSIDAD)

Se determinan los datos de nubosidad a partir de los datos parametricos de los días despejados, nublados y medio nublados estableciendo la calidad del tipo de cielo que corresponde a la ciudad de México con respecto a los meses del año (Tabla 11).

PARAMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Suma ANUAL	MEDIA ANUAL
DIAS DESPEJADOS	días	14.00	13.40	13.4	8.72	6.10	2.26	0.60	0.53	1.17	5.40	8.70	9.96	70.2	5.86
MEDIO NUBLADOS	días	11.14	10.36	12.3	15.6	15.5	10.8	9.33	11.5	9.26	10.9	13.8	13.4	133.1	11.10
DIAS NUBLADOS	días	5.53	4.33	4.72	5.13	8.55	16.1	20.2	18.1	18.5	13.5	6.90	7.16	123.4	10.28

**Tabla 11** Parámetros de nubosidad

**Fuente:** Normales Climatologicas de la red sinóptica básica de superficie y estaciones climatológicas de primer orden, (1951,1980), estación Tacubaya, fenómenos especiales



**Fig. 120** Nubosidad de la Ciudad de México en porcentajes al año.

**Fuente:** Dr. Víctor Fuentes Freixanet

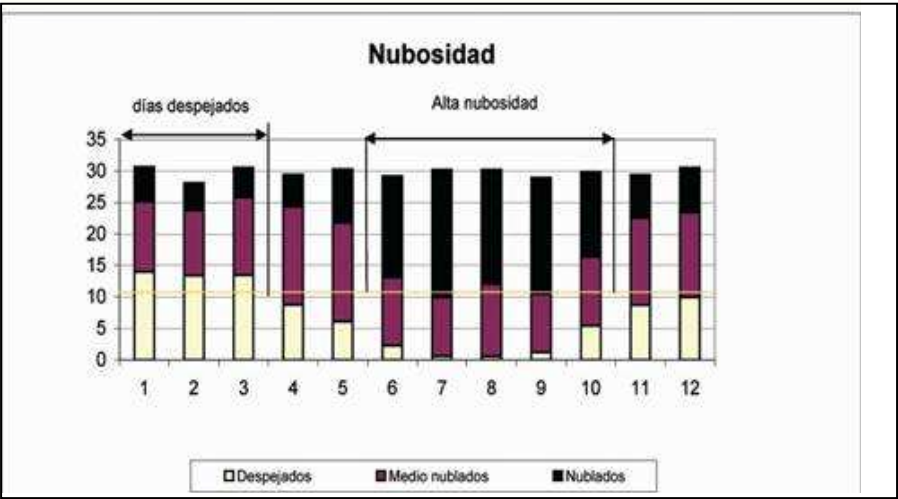


# **Análisis de Nubosidad**

Parámetros		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AMU AL
Despejados	%	45.16 %	47.86 %	43.35 %	29.07 %	19.68 %	7.53%	1.94%	1.71%	3.90%	17.42%	29.00%	32.13 %	23.23 %
Medio Nublado	%	35.94 %	37.00 %	39.90 %	52.07 %	50.48 %	6.00%	30.10 %	37.19 %	30.87 %	35.35%	46.10%	43.32 %	39.53 %
Nublado o cerrado	%	17.84 %	15.46 %	15.23 %	17.10 %	27.58 %	3.87%	65.35 %	58.58 %	61.67 %	43.65%	23.00%	23.10 %	35.20 %
Despejados + Medio nublados	%	81.10 %	84.86 %	83.26 %	81.13 %	70.16 %	3.53%	32.03 %	38.90 %	34.77 %	52.77%	75.10%	75.45 %	62.76 %
Medio Nublado + Nublados	%	53.77 %	52.46 %	55.13 %	69.17 %	78.06 %	9.87%	95.45 %	95.77 %	92.53 %	79.00%	69.10%	66.42 %	74.73 %
Despejados + Medio nublados /2	días	19.6	18.6	19.6	16.5	13.9	7.7	5.3	6.3	5.8	10.9	15.6	16.7	156.4
Nublados + Medio nublados /2	días	11.1	9.5	10.9	12.9	16.4	21.6	24.9	23.9	23.1	19.0	13.8	13.9	201.1

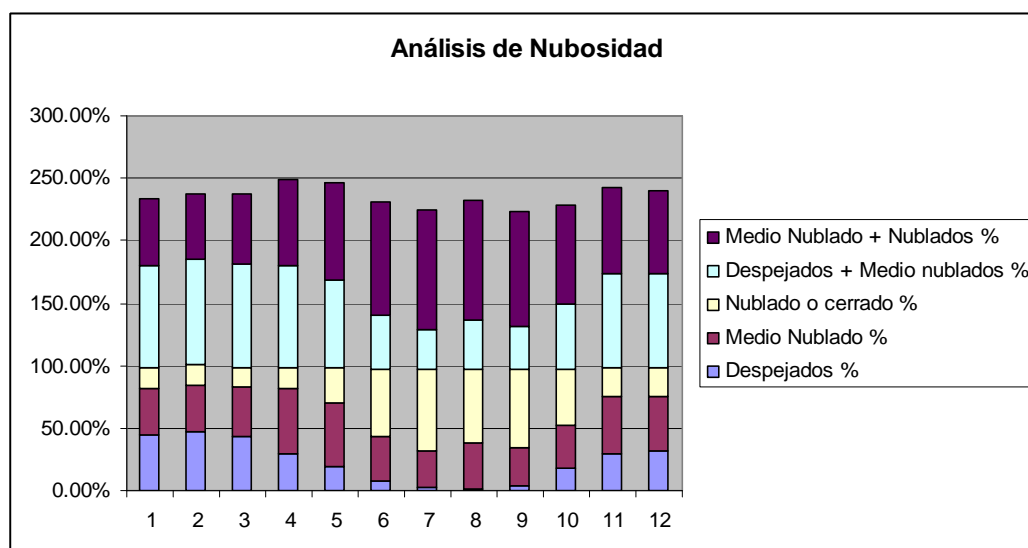
**Tabla 12** Análisis de nubosidad de la Ciudad de México

**Fuente:** , Normales climatológicas de la red sinóptica básica de superficie y estaciones climatológicas de primer orden, (1951,1980), Estación Tacubaya, fenómenos especiales.



**Fig. 121** Nubosidad de la Ciudad de México por días al mes y por meses.  
**Fuente:** Dr. Víctor Fuentes Freixanet

La nubosidad en la ciudad de México permite la observación de días despejados, que corresponden a un alto potencial de incidencia solar directa libre de nubes en las edificaciones. Muestra 70 días despejados al año, que corresponden al 20%; también se tienen 133 días medio nublados que corresponden al 36% y 123 días nublados que corresponde al 34.5% del año. El 10% restante corresponde a otros días con: granizo, rocío, heladas y niebla. (Figs. 120-122)



**Fig. 122** Análisis de la nubosidad de la Ciudad de México por días al mes en porcentaje.  
**Fuente:** Dr. Víctor Fuentes Freixanet

Existen diferentes modelos posibles de iluminación del cielo que debemos considerar como existencia ambiental, en los cuales se toma el cielo cubierto como caso más desfavorable, así como también el caso del cielo nublado o de cielo claro, y se considera la posición del sol (equinoccios y solsticios).



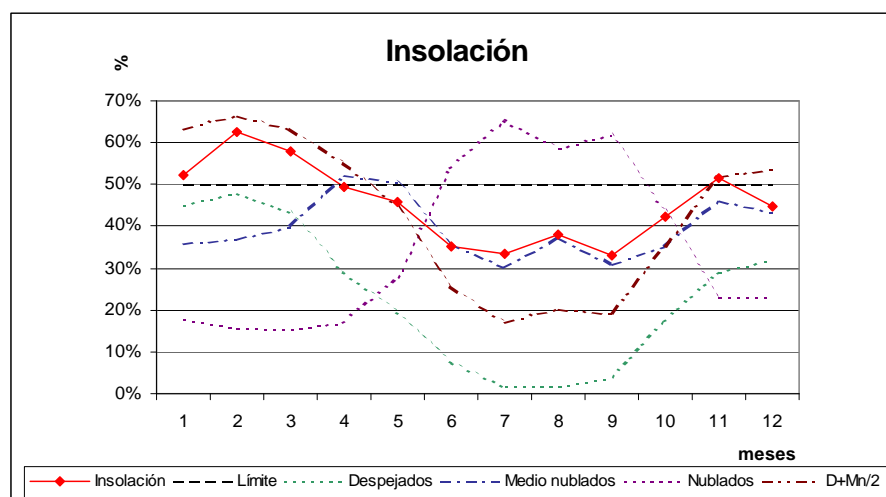
### 5.4.2. Cuántos Días al año tiene Horas de Insolación la Ciudad de México

Se determina los datos de Insolación a partir de los datos parametricos de insolación total, e insolación horas promedio al día para establecer la incidencia solar para la Ciudad de México con respecto a los meses del año. (Fig. 123) (Tabla 13)

INSOLACION	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
INSOLACION TOTAL	hr	178.2	201.6	216.1	186.2	184	138.6	135.2	147.8	118.9	151.0	170.1	150.5	1,978.2
INSOLACION HORAS PROMEDIO POR DÍA	hr/días	5.8	7.2	7.2	6.01	6.13	4.62	4.36	4.9	4.0	4.9	5.5	4.9	65.4

**Tabla 13 Insolación anual**

**Fuente:** Normales Climatológicas de la red sinóptica básica de superficie y estaciones climatológicas de primer orden, (1951,1980), Estación Tacubaya



**Fig.123** Insolación de la Ciudad de México por porcentaje.

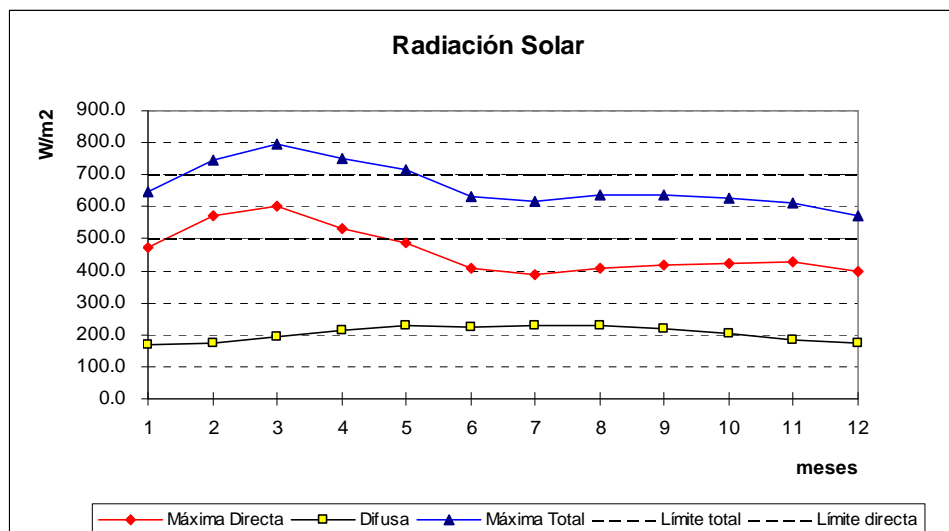
**Fuente:** Dr. Víctor Fuentes Freixanet

Se determinan los datos de radiación solar a partir de los datos parametricos de radiación máxima total, Radiación máxima Directa, Radiación máxima difusa para establecer la incidencia solar para la Ciudad de México con respecto a los meses del año. (Fig. 124)

RADIACION SOLAR	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
RADIACION MAXIMA TOTAL	W/m2	645	748	797	750	718	632	617	636	637	628	610	571	665.8
RADIACION MAXIMA DIRECTA	W/m2	474	572	603	534	489	406	389	408	416	424	428	396	461.6
RADIACION MAXIMA DIFUSA	W/m2	171	176	194	216	229	226	228	228	221	204	182	175	204.2

**Tabla 14 Radiación solar anual**

**Fuente:** Normales Climatológicas de la red sinóptica básica de superficie y estaciones climatológicas de primer orden, (1951,1980), Estación Tacubaya



**Fig.124** Radiación de la Ciudad de México por porcentaje.

**Fuente:** Dr. Víctor Fuentes Freixanet

Las condiciones de luminancia del cielo son una característica básica a considerar en el estudio de las preexistencias de un lugar. En este caso es decisivo el clima, con la nubosidad que pueda predecirse en él; con ayuda de los centros meteorológicos se puede procurar la obtención de datos viables y confiables.

Existen diversas condiciones posibles de luminancia del cielo. Se debe tomar en cuenta como caso más desfavorable el cielo nublado, y el caso más favorable el cielo despejado para las mediciones al exterior, en las simulaciones de los modelos a estudiar en condiciones reales; aplicando una serie de mediciones que permitan dar valores lumínicos para el análisis del edificio.

# CAPÍTULO VI

## CASO DE ESTUDIO GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO

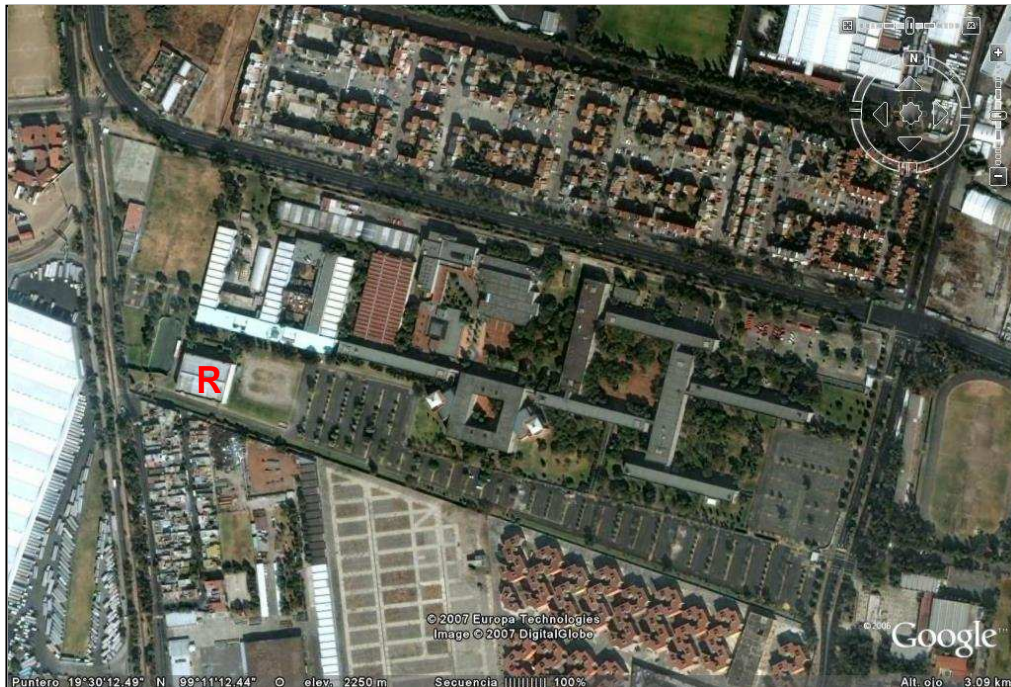


## CAPÍTULO VI

### CASO DE ESTUDIO: GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO

#### 6.1. Descripción General del Gimnasio UAM. Azcapotzalco

La edificación analizada y presentada como Caso de Estudio en la presente investigación es de género deportivo, se ubica en la Ciudad de México, en la delegación Azcapotzalco. (Fig. 125)



**Fig.125** Vista aérea de la UAM Azcapotzalco.

El edificio está localizado en la parte posterior de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, su fachada principal se localiza hacia el norte y la fachada posterior hacia el sur con una desviación del norte verdadero de 7 grados;

hacia el Este le corresponde la letra “R” en la localización de la planta de conjunto del campus de la universidad. (Fig. 126)



**Fig. 126** Edificio de Caso Estudio. Vista Aérea.

La planta del gimnasio muestra los factores externos e internos que afectan al edificio en su funcionamiento. El edificio a analizar se determina a partir de las siguientes características físicas:

- Descripción de Fachadas
- Obstrucciones
- Dimensiones

Es importante hacer las consideraciones preliminares para determinar el Caso de Estudio en donde el ahorro de energía y el control lumínico, mediante el uso de la iluminación natural, tenga un impacto importante para su mejoramiento.



### 6.1.2. Descripción de Fachadas

La **Fachada Principal**, tiene orientación Norte con dispositivos solares pasivos denominados parteluces verticales dispuestos en un ángulo de 45 a una distancia de 50 cm entre cada uno de ellos; en una composición de 3 módulos, compuesta por 8 parteluces verticales; cubiertos por un volado de 1m. dando el 22% de vano contra el 78% de macizo. (Fig. 127)



Fig. 127 Fachada Principal del gimnasio orientación Norte.

La **Fachada Posterior** tiene orientación sur, simétrica con parteluces verticales dispuestos en un ángulo de 45° a una distancia de 50 cm entre cada uno de ellos; en una composición de 3 módulos compuesta por 8 parteluces verticales, cubiertos por un volado de 1m. dando el 22% de vano contra el 78% de macizo. (Fig.128)



Fig. 128 Fachada Posterior del gimnasio orientación Sur.

Las fachadas laterales este no cuentan con ventanas, son muros corridos de concreto, considerados como el 100% de macizo. (Fig. 129)



**Fig. 129** Fachada lateral del gimnasio orientación este.

Las fachadas laterales oeste no cuentan con ventanas, son muros corridos de concreto. Considerados como el 95% de macizo, y el 5% es para el área de ventilación. (Fig. 130)



**Fig. 130** Fachada Principal del gimnasio orientación oeste.



### 6.1.3. Obstrucciones en el Edificio del Gimnasio UAM- Azcapotzalco

**Las obstrucciones**, se pueden tener sobre el comportamiento ambiental del edificio, actúan como barreras, reflectores o desviadores de los agentes ambientales. Estas obstrucciones pueden provenir tanto de la elección de una ubicación determinada donde existen obstrucciones, como de las acciones producidas por el mismo proyecto al crear en el entorno del edificio elementos que actúan de esta forma. Se dividen en:

**Obstrucciones Sólidas:** este concepto considera la orientación de cualquier tipo de elemento topográfico o construido, que representa un obstáculo completo a la radiación, el viento, las vistas, etc.

**Obstrucciones Vegetales:** Consideran la presencia de masas vegetales en distintas orientaciones, que representan una barrera relativa a las acciones de radiación solar, vista y viento.

Las obstrucciones que presenta el edificio se observan en la figura 131.



**Fig.131** Localización de las obstrucciones del edificio (1, 2,3 y 4).

Las obstrucciones del Punto 1 corresponden a la fachada lateral con orientación Oeste. Se observan obstrucciones vegetales como arboles de hoja perenne de 3m de alto, la cual no tienen afectaciones con respecto al edificio a estudiar, no son relevantes; ya que el muro no cuenta con ninguna abertura o ventana. (Fig.132 y 133)

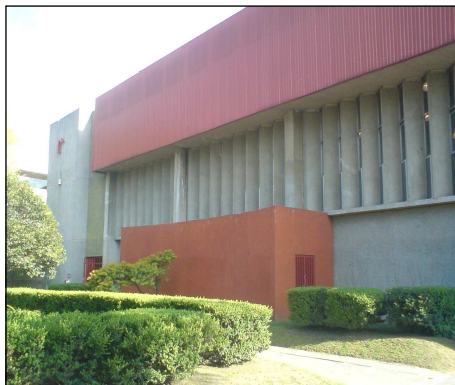


**Fig.132** Perspectiva Fachada Oeste.



**Fig.133** Vista de obstrucciones vegetales frente a la fachada Oeste.

Las obstrucciones del Punto 2 corresponden a la fachada Principal con orientación Norte. La obstrucción es solida, al frente tiene un edificio de dos niveles, corresponde a la altura en la que se encuentran las ventanas, por su forma de parteluces a 45 grados; la penetración de rayos solares es mínima. La obstrucción vegetal se encuentra en un jardín de separación entre edificios con carácter sólo decorativo que no impacta al edificio (Figs. 134 y 135).



**Fig.134** Fachada Principal.



**Fig.135** Se observa el edificio de dos pisos de altura en la parte de enfrente. Como obstrucciones vegetales son árboles de baja altura y arbustos.

Las obstrucciones del **Punto 3** corresponden a la fachada lateral Este. La obstrucción es solida. Actualmente se construye un edificio aledaño de 5 pisos rebasando la altura del edificio a estudiar. La obstrucción vegetal se presenta por un jardín de carácter decorativo entre los dos edificios. Considerando que esta fachada es un gran muro sin aberturas o ventanas no son relevantes las obstrucciones que presenta (**Figs.136 y 137**).



**Fig.136** Fachada este no tiene obstrucciones vegetales.



**Fig.137** La obstrucción solida es el edificio de 5 pisos frente a la fachada este.

Las obstrucciones del **Punto 4** corresponden a la fachada posterior con orientación Sur. Las obstrucciones solidas son pequeñas casas que se encuentran frente al edificio que corresponden a la calle paralela a la barda de la universidad, permite que el sistema de parteluces a 45 grados en las ventanas funcione, evitando la penetración de luz de día al interior del edificio, solo en determinadas horas y con un ángulo de incidencia muy corto de 4 m que es la sombra que proyecta al interior. Las obstrucciones vegetales no existen en ese lado de la fachada. (**Figs. 138 y 139**)



**Fig.138** Fachada Sur no tiene obstrucciones significativas.



**Fig.139** Las obstrucciones no afectan al proyecto.

## 6.2. Dimensiones

El Gimnasio de la Universidad Autónoma Metropolitana. Azcapotzalco tiene las siguientes dimensiones:

### Planta del Gimnasio de la UAM Azcapotzalco

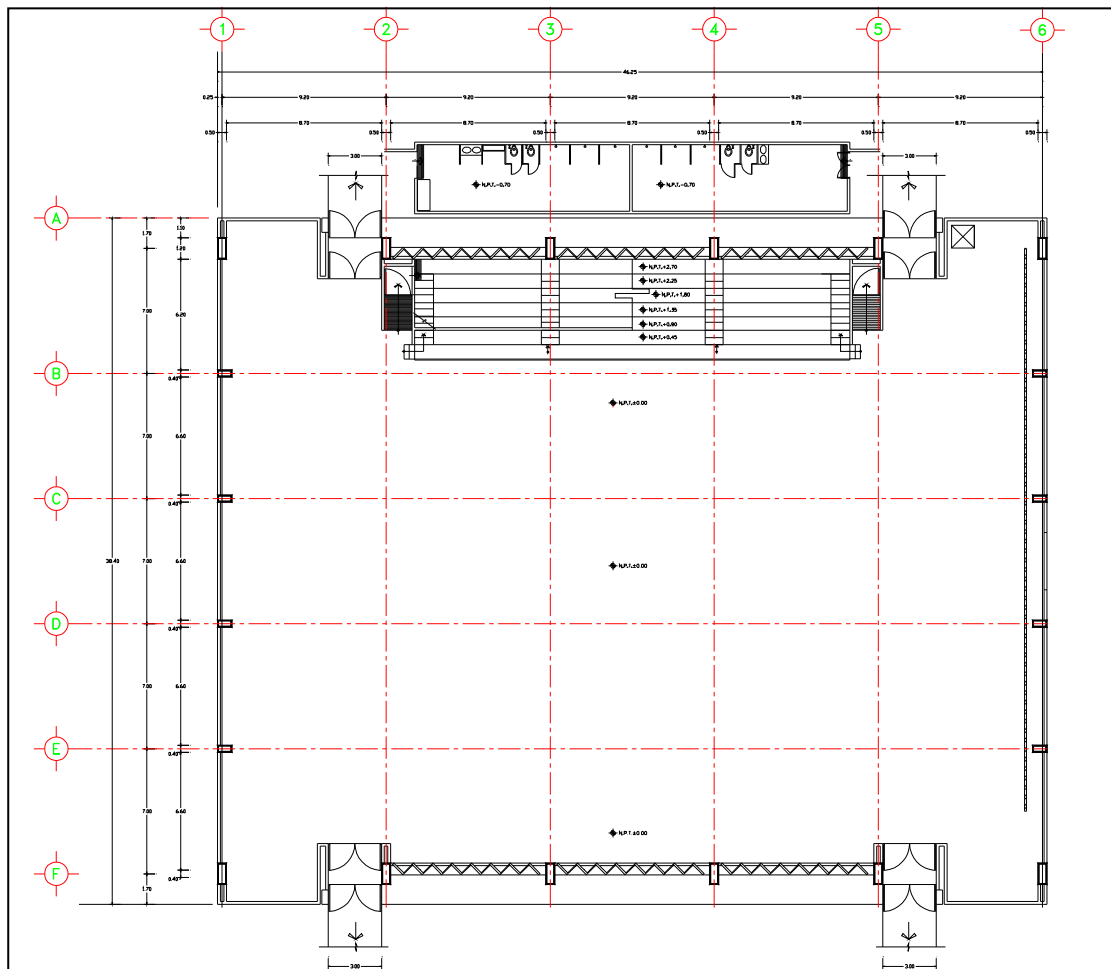
Dimensionamiento,

Medidas del punto A al F de eje a eje: 46.5 m

Medidas del punto 1 al 6 de eje a eje: 38.40 m

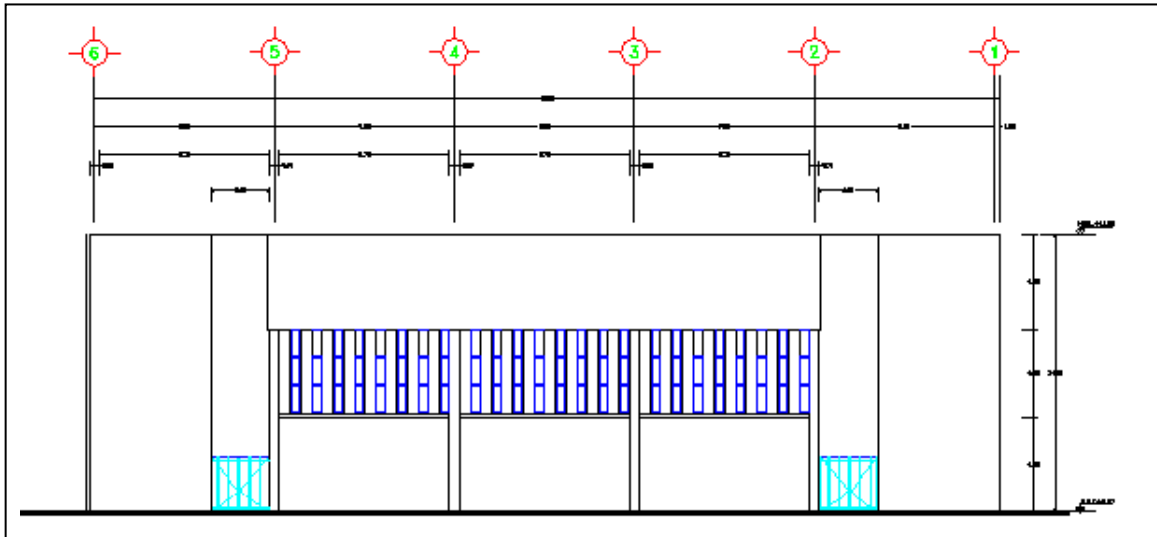
Área en techo: 1785 m<sup>2</sup>

Sistema contractivo en techos: Losacero



**Fig. 140** Planta Arquitectónica del Gimnasio UAM AZC . Ver anexo IA planos Arquitectonicos

Se presenta la fachada Principal con sus características de dibujo arquitectónico, respetando ejes y dimensiones. (Fig.141), para mas detalles de medidas ver ANEXO I de Planos.



**Fig. 141** Fachada Principal Gimnasio UAM Azcapotzalco.

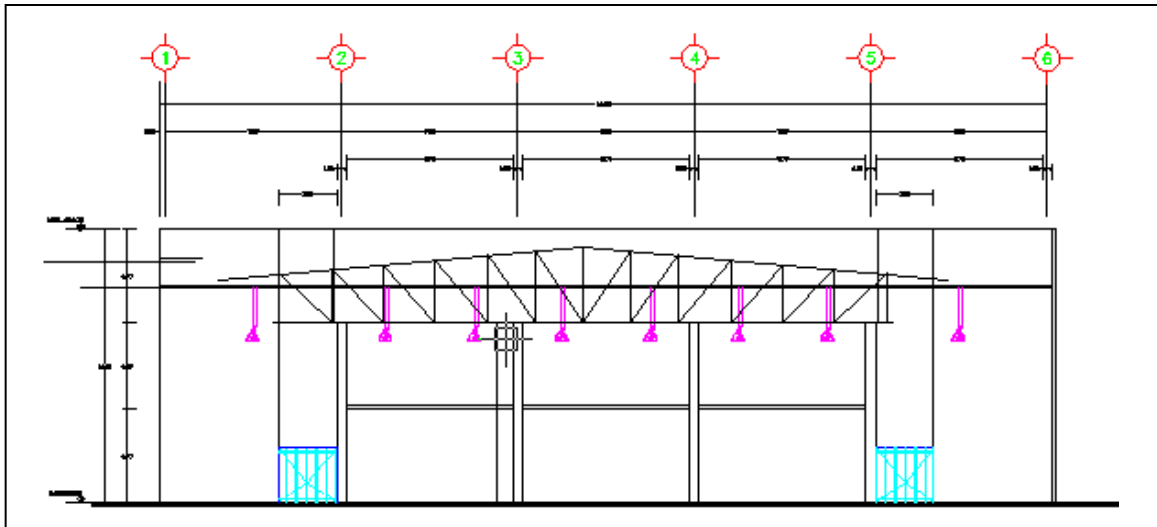
Se presenta la fachada Principal del edificio real para tener una comparación a detalle con el dibujo arquitectónico, permite apreciar las características físicas y colores de los materiales (Fig. 142).



**Fig. 142** Fachada Principal del Edificio Real.



Corte longitudinal del Gimnasio en corte arquitectónico, se representan los ejes, dimensiones y cotas al interior, se puede ver el distanciamiento de la estructura y la distribución de las lámparas. (Fig. 143). Detalles ver ANEXO I.



**Fig.143** Corte longitudinal Gimnasio UAM Azcapotzalco

Corte longitudinal al interior del gimnasio como se ve en el edificio real, permite tener un mayor detalle del edificio en cuanto a proporción, los materiales y colores utilizados para medir las reflectancias (Fig. 144) .



**144** Vista interior del edificio real en corte longitudinal. La fotografía fue tomada de día.

Corte transversal al interior del edificio permite ver los detalles de los materiales y colores al interior para medir su transmitancia, la cantidad y potencia de las lámparas. La fotografía fue tomada de noche para observar este fenómeno (Fig. 145).



**Fig. 145** Corte longitudinal del edificio real. Fotografía tomada en la noche.

La descripción y observación del proyecto arquitectónico y las visitas en sitio documentadas con fotografías del edificio al interior y exterior, permitió tener parámetros reales para la justificación del caso de estudio.

### 6.3. Justificación del Caso de Estudio

Hoy en día los edificios deben tener sustentabilidad energética, que permita bajar los consumos de gasto de energía mediante nuevas alternativas de iluminación natural, que permitan su utilización en edificios ya construidos o por construir, dando como resultado un ahorro significativo en el costo de la energía.

En el caso de Estudio, se observó la falta de niveles mínimos de iluminación establecido por los estándares nacionales e internacionales dentro de las instalaciones del gimnasio y altos consumos de energía eléctrica. El horario de uso del gimnasio es de 11 am a 10 pm de lunes a viernes.<sup>22</sup> (Anexo III horario de uso del gimnasio)

Debido al número de horas de uso que tiene el gimnasio, con la utilización de luz artificial, el consumo de energía es muy alto.

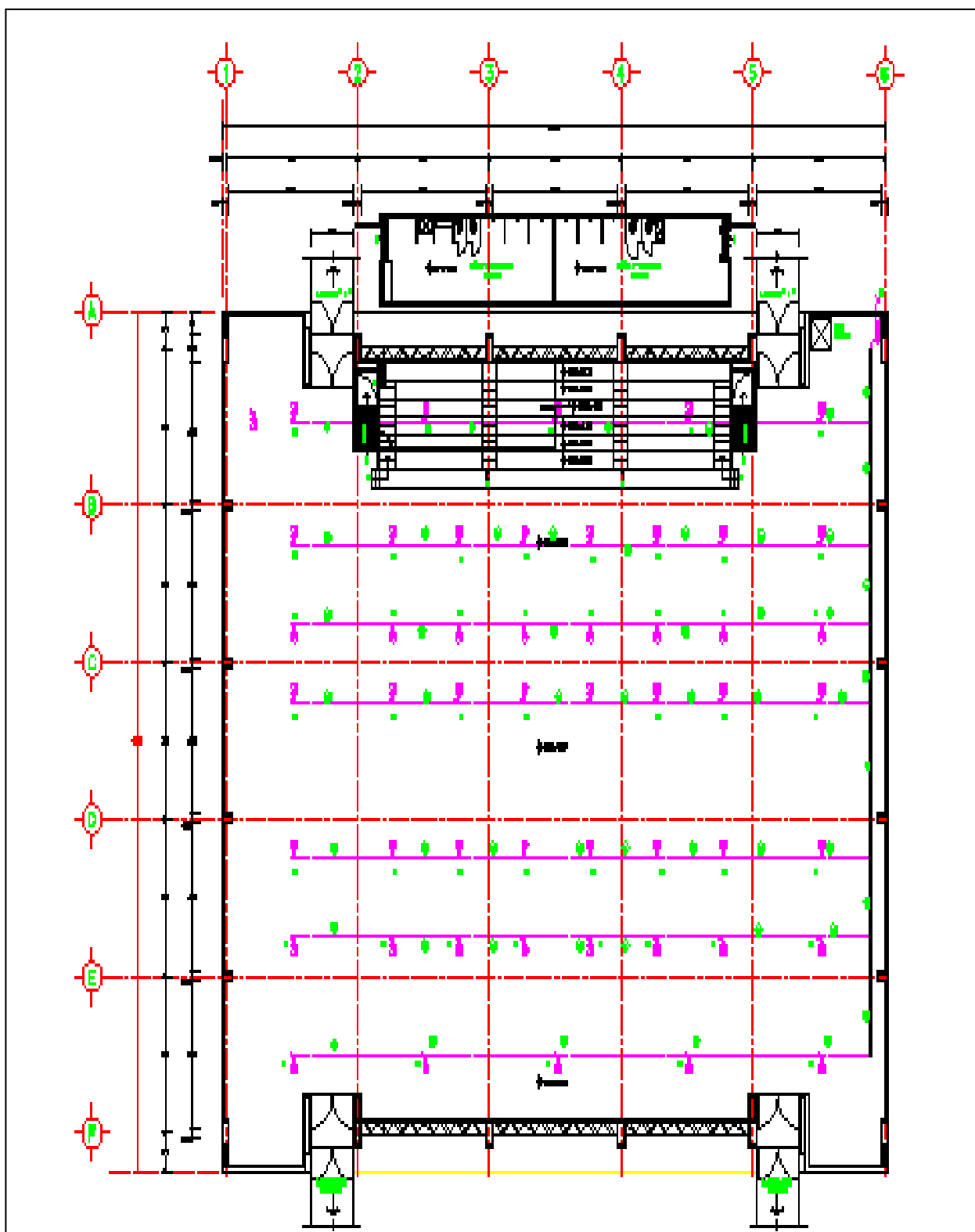
En una primera fase de diagnostico se observo que los valores de iluminancia se encontraban dentro de un rango no mayor a los 80 lux en la parte central y de los lados laterales donde no hay ventana cerca el promedio fue de 20 lux, como un máximo con las lámparas apagadas. Esto indica que el edificio no cuenta con los requisitos mínimos de niveles de iluminación.

Se presenta la distribución en la planta arquitectónica de las 50 luminarias Industriales modelo TH-A16 de alta presión de sodio, marca Lithonia lighting con balastro autorregulado, con una potencia de 400 watts (**Fig.146**).

---

<sup>22</sup> Ver el Anexo II horario de uso del Edificio del caso estudio, Gimnasio de duela UAM-Azc.





**Fig. 146** Planta arquitectónica del gimnasio con las 50 luminarias marcadas. Ver anexo 1A para dimensiones.

En el interior del gimnasio el consumo de energía durante el día por la utilización de 50 luminarias es excesivo lo que también implica una significativa emisión de contaminantes al medio ambiente (Fig.147).



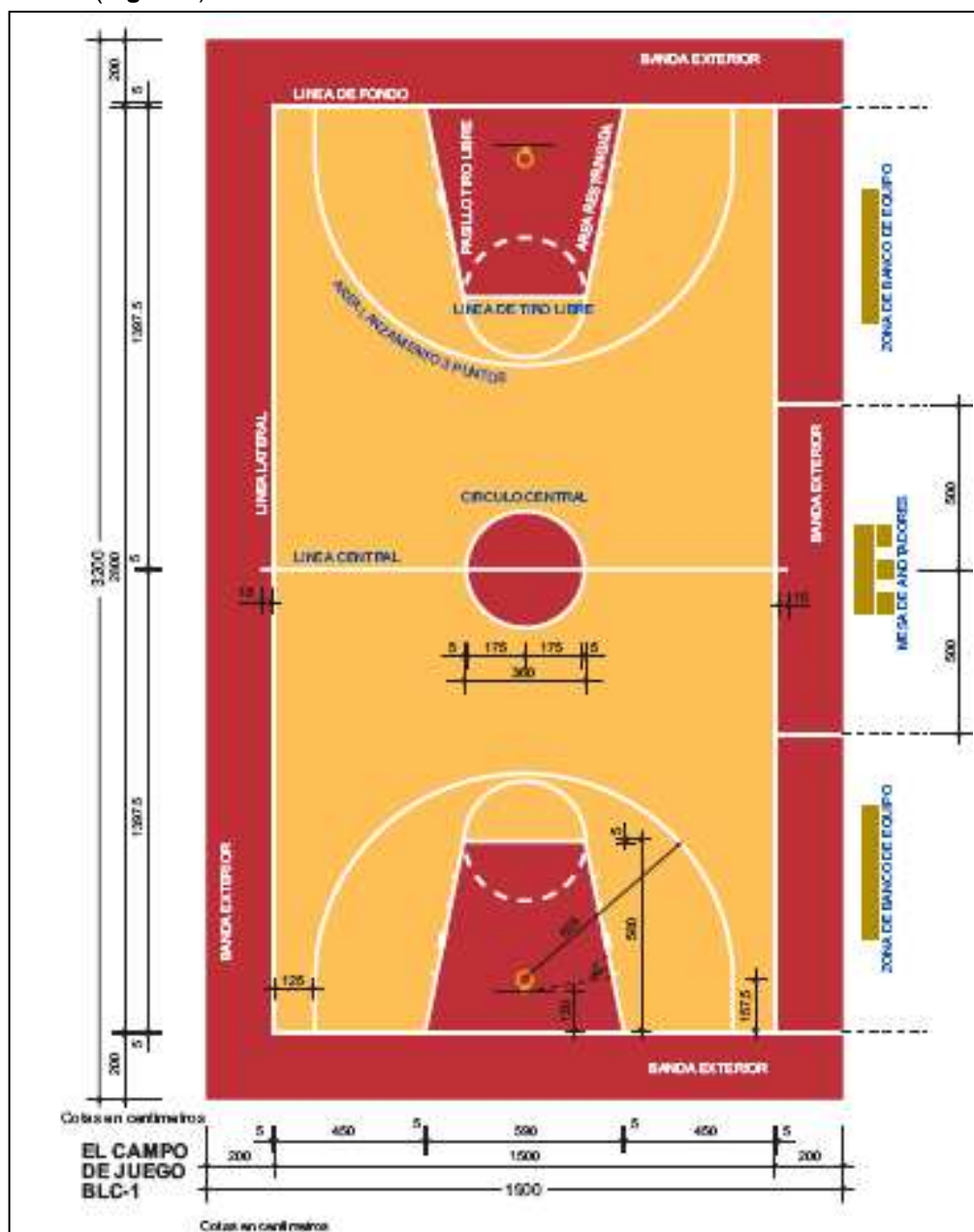
**Fig. 147** Vista al interior con las 50 luminarias encendidas durante el día dentro del gimnasio.

Mediante el diagnostico lumínico realizado al gimnasio se observó que los niveles de iluminación natural son muy bajos, de 20 a 80 lux en promedio, baja condición de luz artificial apagada durante el día.

Una de las razones por las que se eligió entre caso de estudio es por este tipo de niveles mínimos de iluminación. El CIE recomienda 300 lux para áreas deportivas.

#### 6.4. Normatividad Internacional para Gimnasios

El tamaño del campo de juego en el caso de estudio es un rectángulo de dimensiones 28 m x 15 m medidos desde el borde interior de las líneas que lo delimitan, tanto para competiciones internacionales y nacionales como para los campos de nueva construcción (**Fig. 148**).



**Fig.148.** Dimensiones y Normas aplicadas a canchas de básquetbol.

La iluminación artificial será uniforme y de manera que no dificulte la visión de los jugadores. La norma UNE-E12193 corresponde a la de "Iluminación de instalaciones deportivas" con los siguientes niveles mínimos de iluminación medidos a 1.50 m sobre la zona de juego (Tabla 15).

Niveles Mínimos de Iluminación (interior)	Iluminancia Horizontal E med (lux)	Uniformidad E min/E med
Competiciones internacionales FIBA nivel 1 y 2	1.500	0,7
Competiciones internacionales y nacionales	750	0,7
Competiciones regionales, entrenamiento alto nivel	500	0,7
Competiciones locales, entrenamiento, uso escolar y recreativo	200	0,5

**Tabla 15** Valores lumínicos al interior del gimnasio de duela

**Fuente:** Norma UNE-EN 12193:20,00, Iluminación de instalaciones deportivas

Los sistemas que aprovechan la luz natural se pueden aplicar en edificios existentes, como el del caso de estudio, como en nuevos edificios. El número de edificios existentes con problemas cuantitativos y cualitativos de iluminación en México es significativo, por lo tanto la aplicación de estrategias de diseño lumínico eficientes, tendría un impacto favorable en la reducción de consumo de energía y la emisión de contaminantes en el medio ambiente.

# CAPÍTULO VII

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



## CAPÍTULO VII

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 7.1. Método de Investigación Aplicado en el Caso de Estudio

La metodología utilizada en la presente investigación se basó en el método científico para el estudio de la iluminación natural cenital a partir de sistemas de iluminación de alta eficiencia natural, aplicados del caso de estudio “Gimnasio UAM-Azcapotzalco”.

#### 7.2. Diagnostico del Problema

El gimnasio tiene una deficiente iluminación al interior, durante el día, la iluminación lateral de las ventanas es insuficiente. Se realizó un análisis previo en el sitio, con un monitoreo de valoración lumínica, detectando que la máxima iluminación es de 80 lux y la mínima es de 30 en la parte central, siendo esta uniforme. En los extremos del edificio la iluminación tenía como máximo 22 lux y como mínima 5 lux. Los estándares de iluminación para gimnasios son de 300 lux, según el CIE, con lo cual, este edificio se encuentra fuera de los rangos lumínicos recomendados. (Fig. 149).



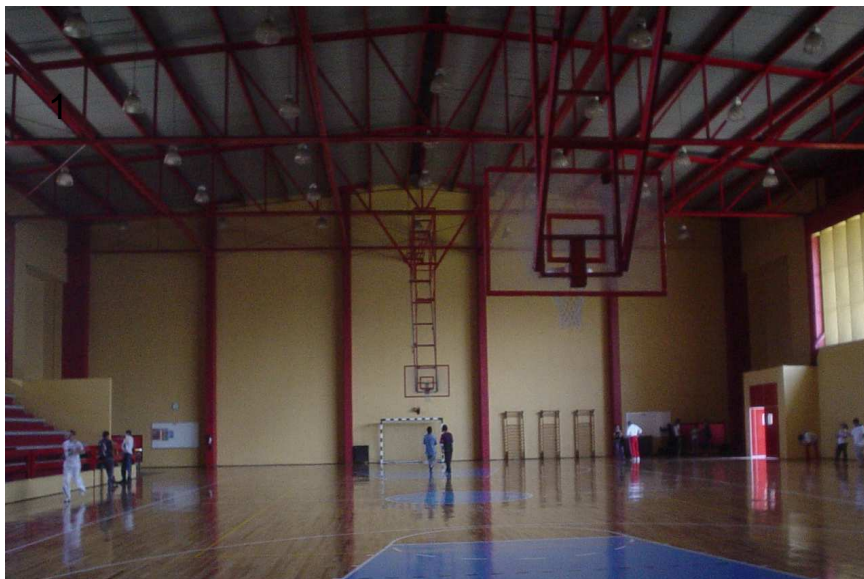
**Fig. 149** Valoración lumínica al interior del gimnasio.

Al interior del edificio la iluminación natural es muy baja, esto hace necesario encender la iluminación artificial para estar en los niveles adecuados de iluminación para desarrollar las actividades de los usuarios en condiciones lumínicas optimas, lo que representa un alto consumo de energía eléctrica.

Dadas las condiciones de iluminación, el gimnasio no cuenta con un confort lumínico adecuado, para que el usuario pueda realizar sus actividades en condiciones lumínicas optima.

### **7.3. Determinación de las Características Físicas del Caso de Estudio.**

1. El sistema constructivo a base de losa acero.
2. Los niveles de iluminación son muy bajos, se encuentran dentro del rango de 20a 80 lux. Bajo condiciones de luz de día (2:00 P.M.)
3. El deslumbramiento que provoca la duela se tiene que considerar ya que sirve como área de reflectancia.
4. La iluminación lateral es insuficiente y crea deslumbramiento en el área lateral de juego.



**Fig. 150.** Descripción de los problemas generales lumínicos del Gimnasio.

Se deben de considerar las características físicas del espacio para empezar un análisis cuantitativo, para proponer un sistema de alta eficiencia que sea funcional, de bajo consumo de energía eléctrica que pueda llevar a un ahorro energético significativo.

#### **7.4. Análisis del Consumo de Energía en el Caso de Estudio**

Para encontrar el método de evaluación económica ideal, hacia la optimización energética del edificio en relación con el consumo eléctrico por cuestiones de iluminación natural se tomaron en cuenta varios factores. Para la valoración del costo beneficio de las tecnologías de la optimización de la iluminación natural en el edificio, fue necesario tomar consideraciones de carácter global.

Para que lo anterior se realizara, fue necesario que los benéficos se tomen en cuenta de acuerdo a:

1. Estrategias que aseguren el ahorro energético por concepto de iluminación natural, es decir que se pueda transformar en un costo- Beneficio.
2. La obtención del confort lumínico, es decir el confort del usuario dentro del espacio que está utilizando.

##### **7.4.1. Estimaciones de Ahorro Energético**

Para realizar estimaciones de ahorro energético anual por concepto de iluminación artificial, es necesario conocer la frecuencia de las condiciones de operación del edificio ("Gimnasio de la UAM-Azcapotzalco"), que a continuación se presentan.



El horario de uso del gimnasio es de 11 am a 10 pm. aproximadamente el uso de luz artificial es de 11hrs. Desde que se abre sus puertas al usuario es necesario prender la luz artificial, ya que no es suficiente la iluminación natural (Fig. 151 y 152).



**Fig.151** Fachada exterior del gimnasio con la luz artificial prendida.



**Fig.152** Detalle de las luminarias prendidas durante el día.

Las características de las lámparas son: Luminarias esvIndustrial modelo TH-A16 de alta presión de sodio con potencia de 400w marca Lithonia con balastro autorregulado (Fig. 153).



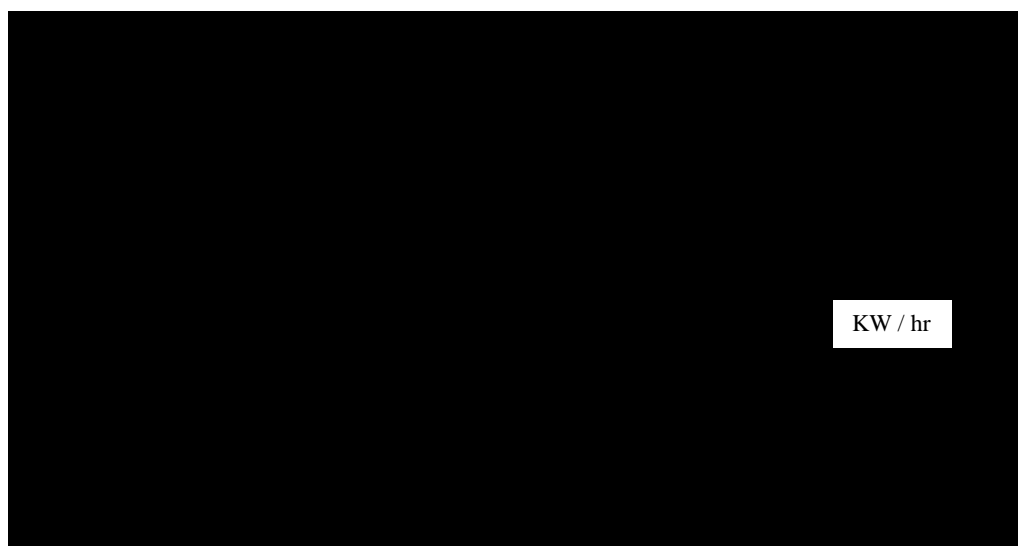
**Fig.153** Luminarias del Gimnasio encendidas 50 piezas.

Se realizó una tabla para la estimación de consumo energético por hora, por día, por semana, por mes y por año, para determinar la demanda de luz artificial necesaria para mantener las actividades de uso del gimnasio. (Ver tabla 16)

HORARIO DE USO	NÚMERO DE LAMPARAS	POTENCIA (W)	TOTAL W	Horas USO AL DÍA	kW h
1hr	50	400	2000	1	2,000
11am a 10pm (un día )	50	400	20000	11	220,000
L- V	50	400	20000	55	1,100,000
L- V dias al mes	50	400	20000	242	4,840,000
anual	50	400	20000	2904	58,080,000

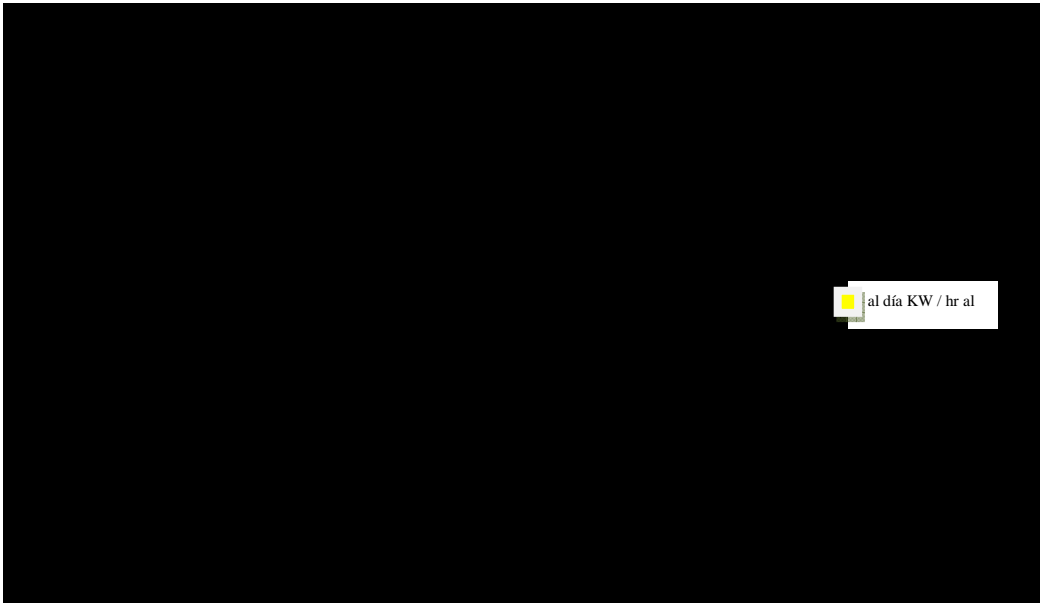
**Tabla 16.** Estimación de Consumo de Energía Eléctrica

Mediante la graficación del consumo de energía eléctrica, medida en kW/h se determina el consumo por hora, día y mes (considerando su uso de lunes a viernes de 11 A.M. a 10 P.M. (Fig.154).

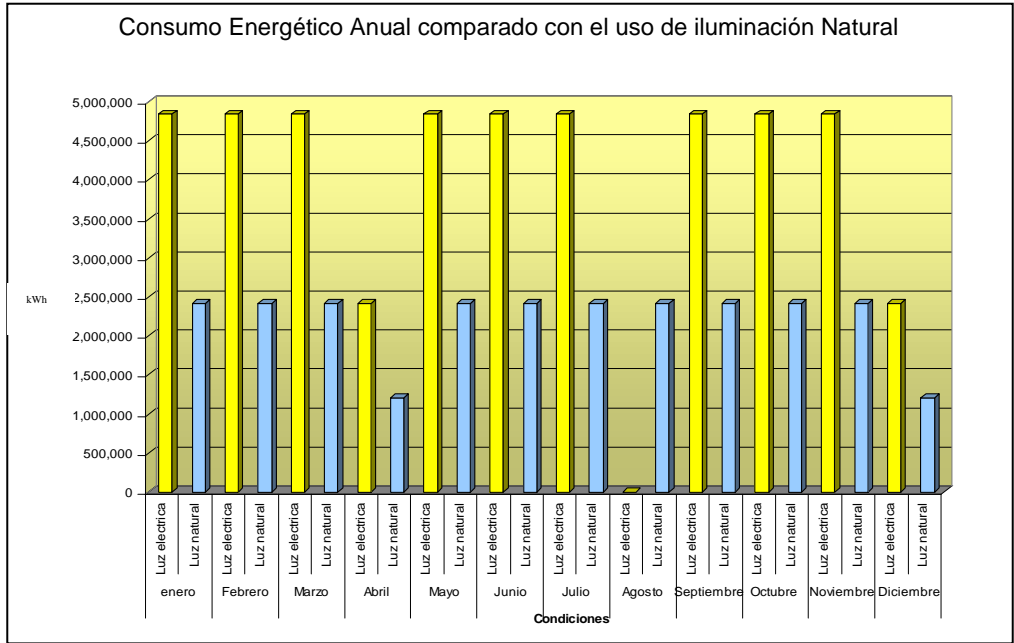


**Fig. 154** Grafica del Cálculo del Consumo de energía por hora, día y semana.

Para la determinación del consumo anual se consideran los meses en los que no se tienen vacaciones y el gimnasio no presta servicio son en abril y diciembre 15 días por mes y en agosto de 30 días (Figs. 155 y 156).



**Fig. 155** Grafica del Cálculo del Consumo de energía por mes (anual).



**Fig. 156** Grafica del Cálculo del Consumo de energía por mes y anual si se utilizara una alternativa de iluminación de alta eficiencia natural.

Debido al alto consumo de energía anual se propone como caso de estudio para implementar alternativas de diseño de iluminación natural que beneficiaran en un futuro al usuario adicionando el beneficio con el costo (Fig. 157).



**Fig. 157** El interior del gimnasio. Observa el deslumbramiento y el área de ventana.

El alto consumo de energía se debe al uso excesivo de la iluminación eléctrica en el Gimnasio.

### **7.5. Planteamiento del Problema para realizar el Monitoreo de las condiciones de Iluminación del Edificio**

La propuesta definida para el planteamiento del problema para realizar el monitoreo se dividió en **tres fases**:

La **primera fase** definió un **proceso para la “caracterización”** de la situación existente, en la cual se describen los procedimientos de medición de los aspectos cuantitativos como es la iluminancia exterior, iluminancia interior, reflectancia y transmitancia de las superficies.

La segunda fase definió un **proceso para la evaluación lumínica** en condiciones reales del edificio, tomándose como parámetros de comparación lumínica.

La tercera parte definió un **proceso para la evaluación lumínica** de una situación ideal en el modelo tridimensional a escala, normalizado por los valores de reflectancia de los materiales al interior, semejantes a la realidad, lo que permite establecer una comparación viable entre valores existentes y recomendados.

La cantidad y la calidad de luz natural que penetra en un espacio depende de varios aspectos que fueron considerados como son:

- El tipo de cielo.
- Las características exteriores del lugar (vegetación y obstrucciones).
- Las características de las superficies internas del espacio (muros, techos, piso, etc).

Cada uno de estos aspectos están, relacionados con ciertas magnitudes luminosas: la iluminancia, la luminancia, la reflectancia y la transmitancia; cuyos valores deberán ser determinados para evaluar la calidad y cantidad de luz considerando el uso del espacio.

Para evaluar o diseñar un sistema de iluminación se utilizaron herramientas de diseño lumínico, como son los modelos de predicción a partir de cálculos matemáticos, los modelos a escala utilizados en el cielo artificial dentro del laboratorio de Arquitectura Bioclimática simulando las mismas condiciones; así como en el edificio real, donde se tomaron mediciones de iluminación natural a partir del monitoreo.

### 7.5.1. Fase 1. Proceso Experimental, Valores de Reflectancia.

La toma de mediciones para la reflectancia se realizo de la siguiente manera:

- Se tomo la reflectancia de los materiales a 20 cm con la luz reflejada con el luxómetro al interior entre la luz incidente con la cara del luxómetro al exterior.

Donde:

$$R = \frac{L_r}{L_i} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 17)}$$

**R=** Reflectancia

**Lr=** Luz Reflejad

**Li=** Luz incidente

Se tomaron mediciones de reflectancias al interior del edificio a cada unos de los materiales que conformaban el espacio para obtener los coeficientes que determinaran los materiales de utilización para el modelo tridimensional a escala, esto permitió simular las mismas condiciones lumínicas para su estudio. (Tabla 17)

Material	Luz reflejada	Luz incidente	Coeficiente de reflectancia
Pared Amarilla	38	74	51%
Columna roja	47	66	71%
Piso de duela de madera	17	52	32%
Puerta de metal roja	55	63	87%
Techo	34	63	53%

**Tabla 17** Valores de reflectancia de los materiales, en el edificio del gimnasio.

### 7.5.2. Valores de Transmitancia de las Ventanas

Se determinó a partir del coeficiente del fabricante, aplicándole un 20% por uso y mantenimiento (desgaste del vidrio, por el tipo de limpieza) (Tabla 18).

Material	Coeficiente de transmitancia	Por el 20% de desgaste	Coeficiente utilizado en %
Vidrio de 6mm	98	78	0.80

**Tabla 18** Valores de transmitancia de los vidrios en el edificio del gimnasio de la UAM.

Conocer el coeficiente de transmitancia en los vidrio permite saber cómo está el desgaste, por años de uso o la falta de limpieza del vidrio, es un coeficiente que se aplicó en el cálculo lumínico en las tablas de Isolux para determinar el índice corregido de la incidencia solar en el gimnasio.

### 7.5.3. Fase 2. Proceso Experimental en el Edificio Real.

La Fase dos se realizó en el Edificio real para el análisis y comportamiento lumínico que presenta el edificio en condiciones actuales. Mediante condiciones de comportamiento de iluminación natural e iluminación artificial.

La realización del **monitoreo de la iluminación natural** se llevó a cabo en el edificio real del caso estudio “Gimnasio de la UAM-Azcapotzalco”.

Monitoreo con iluminación artificial, se realizaron mediciones de comportamiento lumínico.

- Condición 1 “Iluminación artificial encendida en la noche”.
- Condición 2 “Iluminación artificial encendida en el día cielo despejado”.
- Condición 3 “iluminacion artificial encendida en el día cielo nublado”.

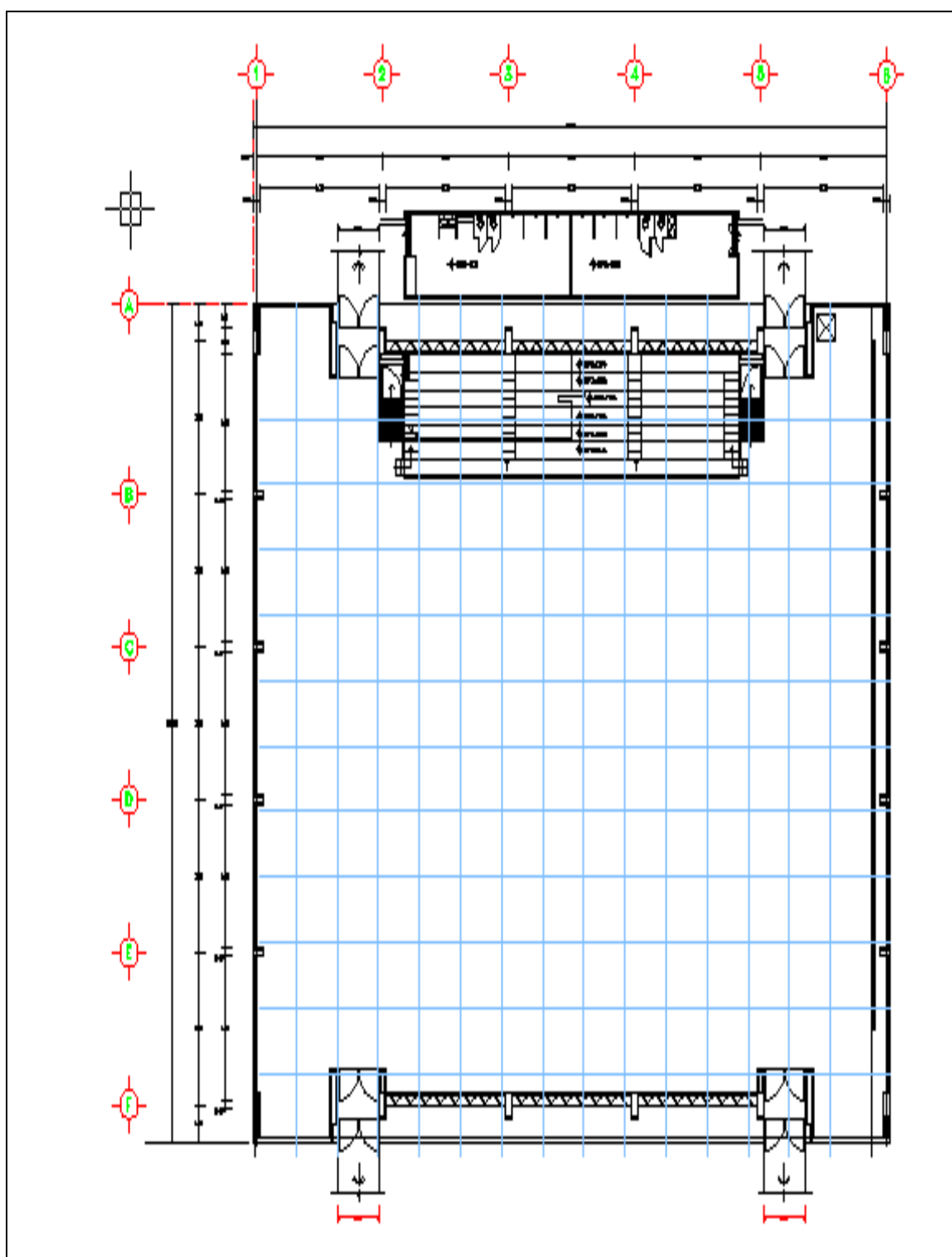
Para precisar las características lumínicas de los espacios interiores se realizaron procesos puntuales de monitoreo de la iluminación natural bajo tres diferentes condiciones:

- Condición 4 “cielo despejado”.
- Condición 5 “cielo nublado difuso (más del 60% de nubes)”.
- Condición 6 “cielo semi nublado”.

Se describen las actividades de los procedimientos de registro del monitoreo para las seis condiciones:

- Descripción previa de datos de la ciudad de México, como latitud, longitud y altitud.
- Registro de la fecha y hora de la toma de mediciones y las condiciones de cielo.
- Monitoreo y registro de los aspectos cuantitativos de la iluminación natural, tales como:
  1. Iluminación Horizontal al exterior de la edificación de forma inicial y final.
  2. Iluminancia al interior de la edificación.
- Monitoreo y registro del área interior a estudiar a partir de una distribución de malla de 3 m por 3 m, considerando en relación vertical del eje “A” al eje “M” y de forma horizontal del eje “1” al eje “10”; se consideraron 150 puntos para la toma de datos (Ver Anexo de Planos) (**Fig. 158**).
- Medición de la transmitancia de las superficies vidriadas, para determinar la pérdida de luz a través de ellas aplicando un factor de uso del 20%.
- Medición de la reflectancia de las superficies internas, para conocer la contribución de estas a la iluminación natural.
- Equipo utilizado 3 luxómetros.





**Fig.158.** Retícula propuesta para la toma de mediciones en el Edificio Real. Ver ANEXO II.

## 7.6. Metodología de las Medición de los Niveles de Iluminación al Interior del Edificio.

Este procedimiento consistió en medir los niveles de iluminación natural sobre el plano de trabajo ubicado en el interior del edificio (gimnasio de duelo UAM-Azcapotzalco). El equipo de medición utilizado es un luxómetro, cuyo rango es de 0 a 20,000 lux.

Para la fijación de la retícula de los puntos se realizó lo siguiente (**Fig.159**).



**Fig. 159** Retícula de 3x 3 puesta en el gimnasio con estambre rojo.

- Se colocó un hilo (rojo) para definir la malla retícula de 3x3 m sobre el piso del gimnasio para localizar los puntos donde se tomaron las mediciones. Esta malla

reticular facilitó la misma localización de los puntos para el monitoreo de las diferentes condiciones de cielo.

- La determinación de los puntos a partir de la retícula permitió realizar una matriz de datos considerando los ejes verticales A-M y los ejes horizontales 1-10 para el procesamiento de los datos de forma matemática.
- El trazo de la malla retícula permitió dibujar las curvas de isolux para determinar la distribución de la iluminación del espacio. Esto permitió conocer las zonas donde la iluminación puede ser insuficiente o inadecuada.
- El monitoreo se realizó sobre el plano de trabajo a una altura del 1.50, es la altura establecida para actividades en el espacio deportivo determinada por la normatividad internacional (CIE).

#### 7.6.1. Análisis de los Datos Obtenidos por el Monitoreo.

Se realizó un análisis en Excel de los datos obtenidos en el edificio con el luxómetro como equipo de medición, para este fin se realizó la siguiente evaluación lumínica, con seis condiciones diferentes (**Tabla 19**).

EVALUACIÓN LUMINICA					
EDIFICIO REAL MEDICIONES	Lámparas Prendidas	Iluminación Eléctrica con Luz de Día	Cielo Despejado	CONDICIÓN 1	
			Cielo Nublado	CONDICIÓN 2	
		Iluminación Eléctrica en la Noche			CONDICIÓN 3
	Lámparas Apagadas de Día	Cielo Despejado			CONDICIÓN 4
		Cielo Nublado			CONDICIÓN 5
		Cielo semi -Nublado			CONDICIÓN 6

**Tabla 19.** Mediciones realizadas en el Edificio Real.

La realización de las tablas se hizo de la siguiente manera:

1. Datos del monitoreo y grafica de comportamiento lumínico.
2. Datos del monitoreo aplicando el Factor de Día.
3. Datos del monitoreo afectados con el coeficiente de ventanas.

En la primera, se colocaron las mediciones tomadas en el monitoreo en una matriz de forma horizontal de la coordenada A - M y de forma vertical de la coordenada del 1 al 8. Realizando graficas de comportamiento lumínico con “Graficas de Isolux”, en donde se interpreta el comportamiento lumínico de forma tridimensional mediante una grafica que corresponde a las coordenadas establecidas por la retícula colocado en el gimnasio.

En la segunda se toman las mediciones obtenidas en el monitoreo de la primera tabla para aplicar el factor de día mediante la fórmula de  $li / le \times 100$ , para obtener el factor de día; con estos datos se grafica la vista en planta del gradiente de iluminación. Como resultado se obtiene el coeficiente de iluminación.

En la tercera se retoman los datos de la primera tabla del monitoreo aplicando el coeficiente de trasmittancia de los vidrios del área de ventanas que es del 20%. Es decir que de la tabla uno se multiplican los lux medidos por 0.80%, esto determina el coeficiente de pérdida de iluminación dada por el vidrio que es el 20%.

## **7.7. Monitoreo del Edificio, Caso de Estudio. Tablas y Gráficas.**

Se presenta el monitoreo de las seis condiciones lumínicas realizadas en el edificio del Caso de Estudio de la figura 160 a la 170, están compuesto por los siguientes elementos:

1. Se definió la condición lumínica de la **tabla 21**.
2. Se monitoreo el edificio de caso estudio, según la condición lumínica.
3. Se capturo la información en tablas, programadas en Excel.
4. Se realizaron los gráficos del comportamiento con patrones cromáticos de Isolux.

Con estos elementos se realizó el monitoreo al caso de estudio, para conformar las figuras que fueron analizadas en la siguiente sección.

- 7.7.1.1. Condición 1, Iluminación eléctrica con luz de Día y cielo despejado.
- 7.7.1.2. Condición 1, Iluminación Eléctrica con Condiciones de Luz de Día y Cielo Despejado aplicando Factor de Día.
- 7.7.2.1. Condición 2, Iluminación Eléctrica con Condiciones de Luz de Día y Cielo Nublado.
- 7.7.2.2. Condición 2, Iluminación Eléctrica con Condiciones de Luz de Día y Cielo Nublado aplicando Factor de Día.
- 7.7.3.1. Condición 3, Iluminación Eléctrica con en condiciones de Noche.
- 7.7.4.1. Condición 4, Iluminación Eléctrica Apagada con condiciones de Cielo despejado.
- 7.7.4.2. Condición 4, Iluminación Eléctrica Apagada con condiciones de cielo despejado y luz de Día, aplicando Factor de Día.
- 7.7.5.2. Condición 5, Iluminación Eléctrica Apagada con condiciones de luz de Día y Cielo Nublado.
- 7.7.6.1. Condición 6, Condición 6: Iluminación Eléctrica Apagada con Condiciones de Cielo Semi- Nublado.
- 7.7.6.2. Condición 6, Iluminación Eléctrica Apagada con Condiciones de luz de Día y Cielo Semi- Nublado aplicando Factor de Día.

## EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

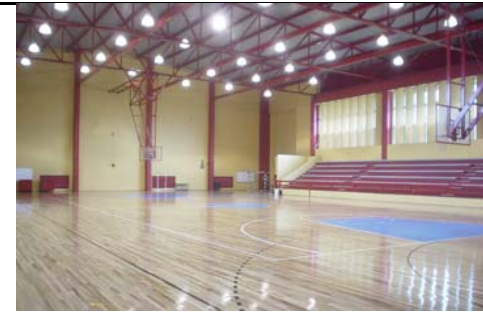
### CONDICION 1 Iluminación eléctrica con condiciones de Luz de Día y Cielo Despejado

Fecha 27 de julio 2007

Hora de inicio	02:06
Iluminancia Exterior Hor	9840

Hora Final	02:45
Iluminancia Exterior hor	9230

promedio iluminancia 9535



### Iluminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	230	260	452	500	639	543	640	575	580	565	534	535	440	360	170
2	235	383	460	550	533	600	645	612	623	610	605	575	360	330	270
3	395	425	500	425	545	580	623	639	675	580	533	420	380	288	240
4	235	410	490	555	590	560	627	565	539	576	580	480	356	330	270
5	315	420	498	465	587	630	640	580	570	580	580	545	360	399	258
6	234	420	502	470	590	650	640	650	600	576	545	440	364	346	220
7	235	490	455	455	589	590	689	630	623	579	555	467	389	244	245
8	162	275	350	421	598	543	695	650	560	569	467	434	302	380	206
9	150	268	231	342	448	420	480	423	475	473	450	356	231	255	168

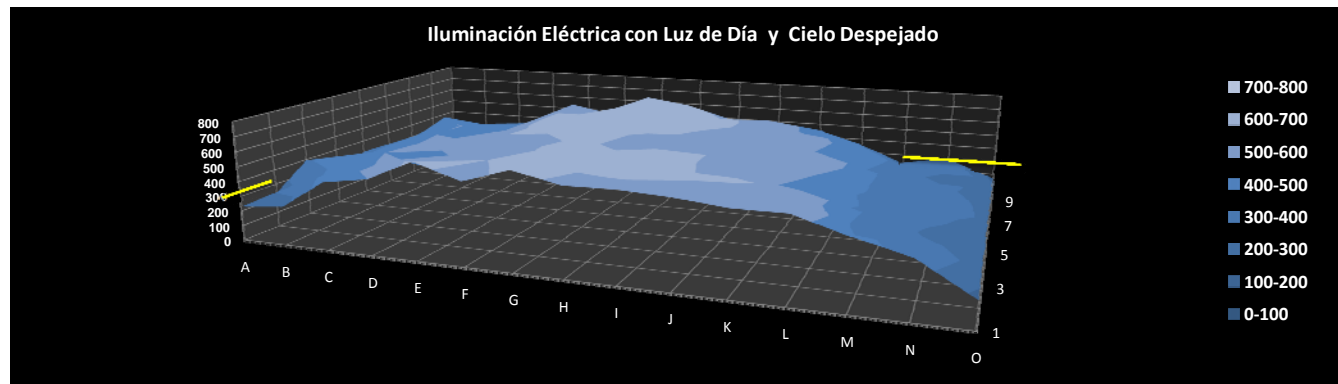


Fig.160 Tabla y grafica de condición 1 :Iluminación eléctrica con luz de día y cielo despejado

## EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

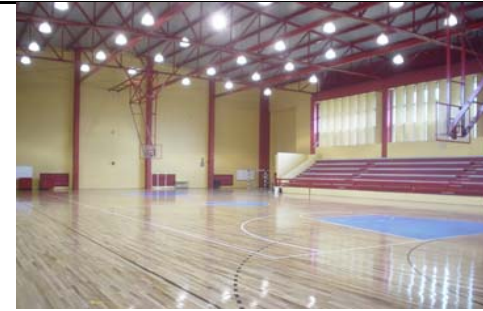
### CONDICION 1 Iluminación eléctrica con condiciones de Luz de Día y Cielo Despejado

Fecha 27 de julio 2007

Hora de inicio	02:06
Iluminancia Exterior Hor	9840

Hora Final	02:45
Iluminancia Exterior Hor	9230

promedio iluminancia 9535



#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	2.41	2.73	4.74	5.24	6.70	5.69	6.71	6.03	6.08	5.93	5.60	5.61	4.61	3.78	1.78
2	2.46	4.02	4.82	5.77	5.59	6.29	6.76	6.42	6.53	6.40	6.35	6.03	3.78	3.46	2.83
3	4.14	4.46	5.24	4.46	5.72	6.08	6.53	6.70	7.08	6.08	5.59	4.40	3.99	3.02	2.52
4	2.46	4.30	5.14	5.82	6.19	5.87	6.58	5.93	5.65	6.04	6.08	5.03	3.73	3.46	2.83
5	3.30	4.40	5.22	4.88	6.16	6.61	6.71	6.08	5.98	6.08	6.08	5.72	3.78	4.18	2.71
6	2.45	4.40	5.26	4.93	6.19	6.82	6.71	6.82	6.29	6.04	5.72	4.61	3.82	3.63	2.31
7	2.46	5.14	4.77	4.77	6.18	6.19	7.23	6.61	6.53	6.07	5.82	4.90	4.08	2.56	2.57
8	1.70	2.88	3.67	4.42	6.27	5.69	7.29	6.82	5.87	5.97	4.90	4.55	3.17	3.99	2.16
9	1.57	2.81	2.42	3.59	4.70	4.40	5.03	4.44	4.98	4.96	4.72	3.73	2.42	2.67	1.76

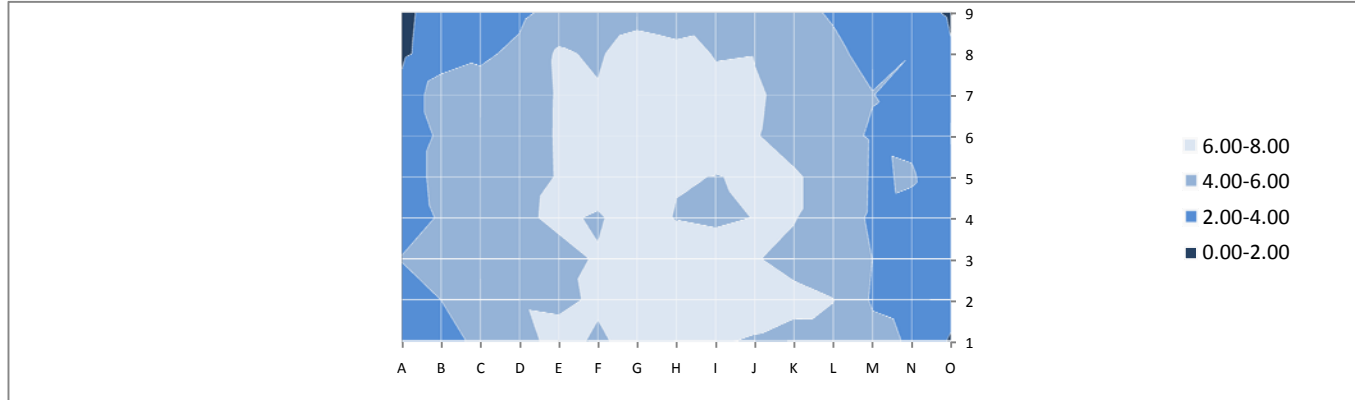
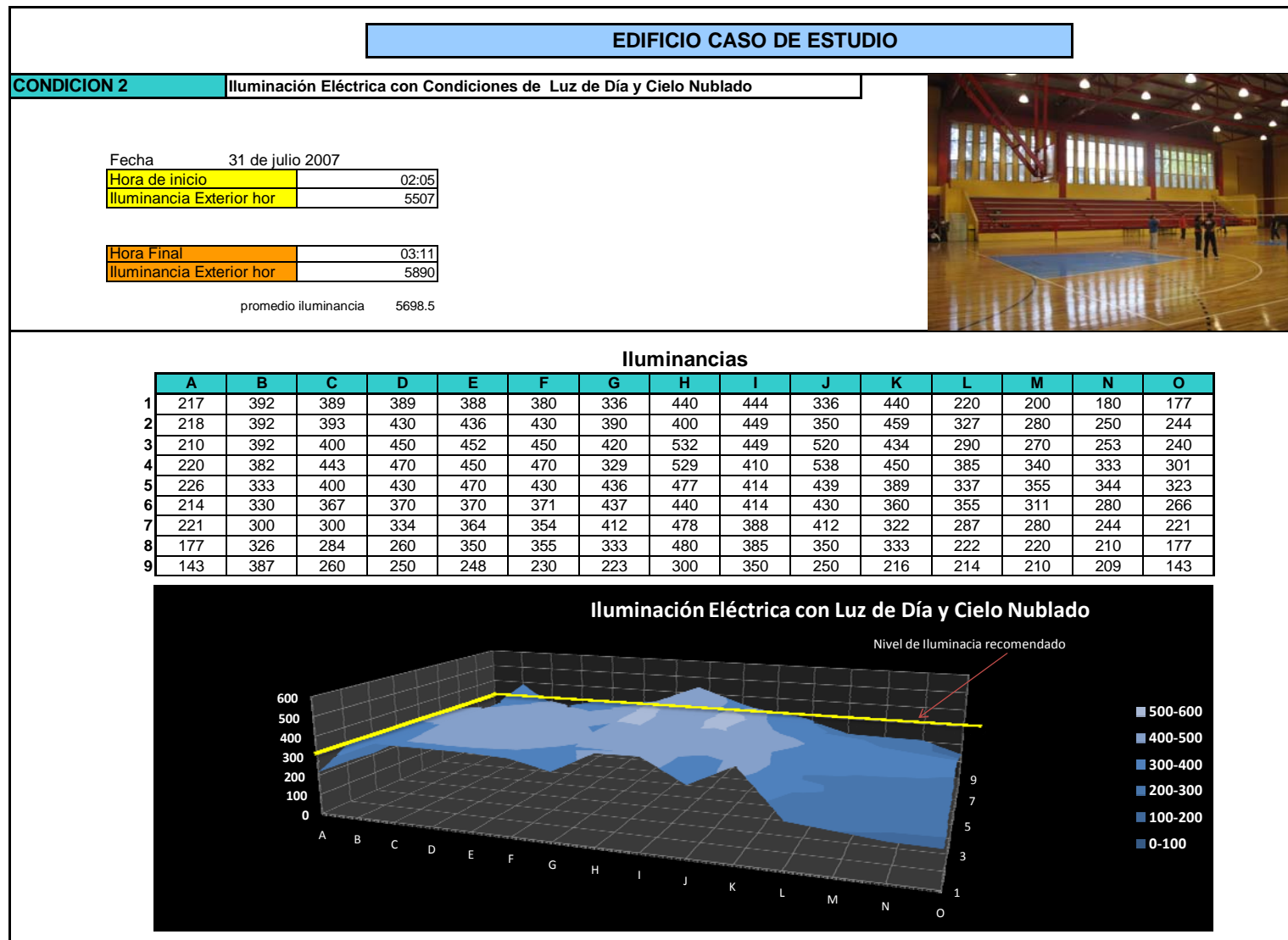
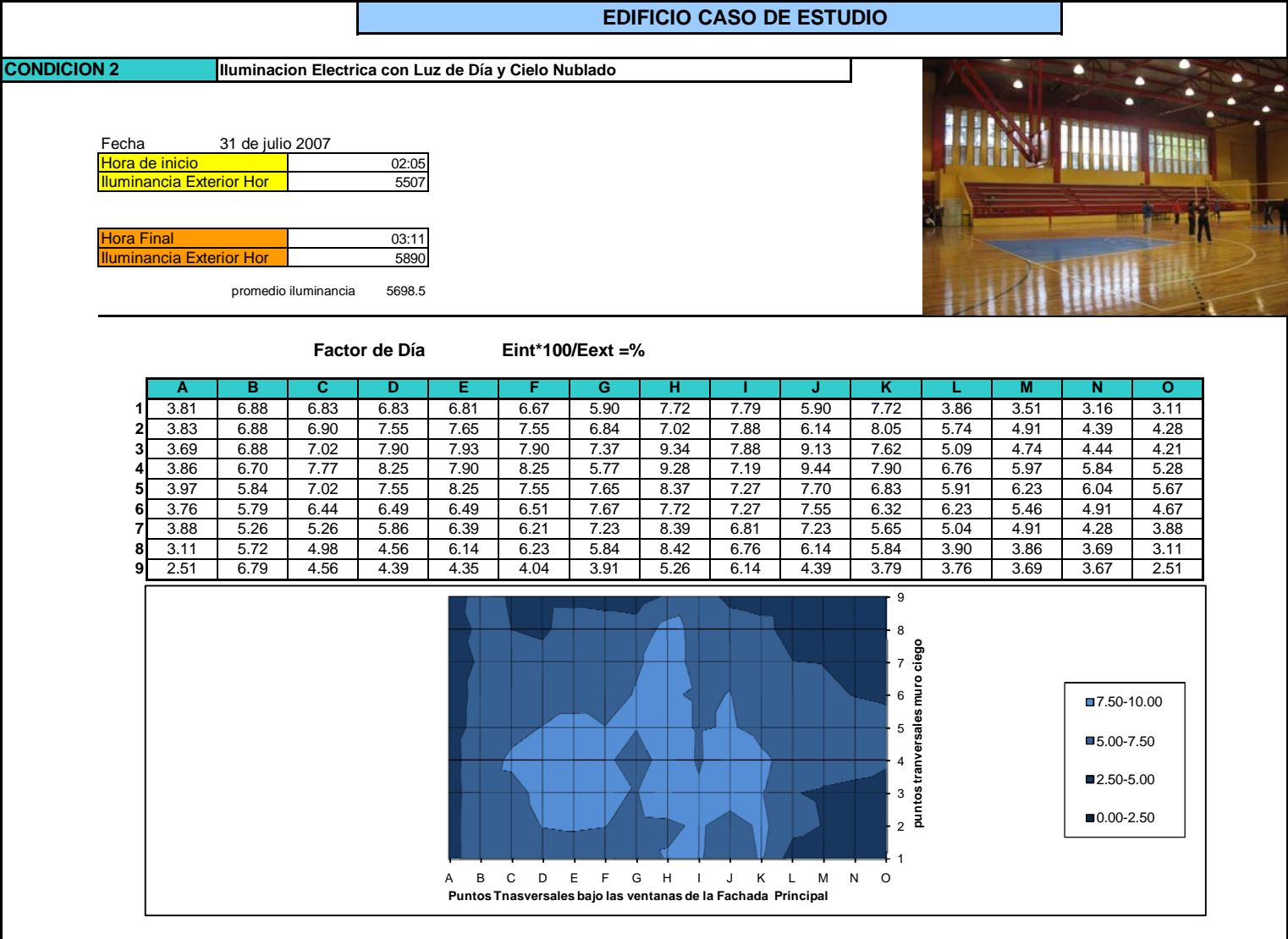


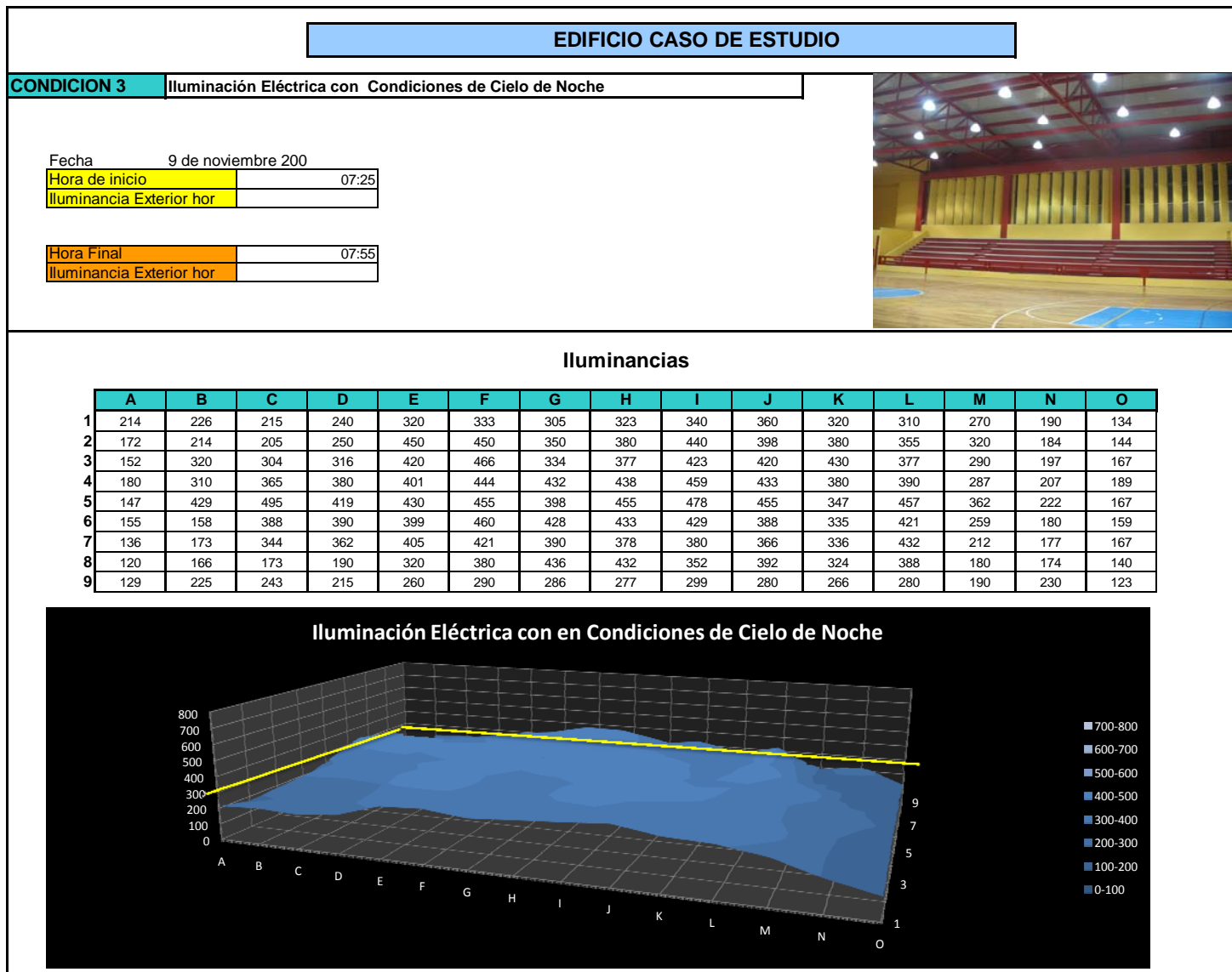
Fig.161 Iluminación Eléctrica con Condiciones de Luz de Día y Cielo Despejado



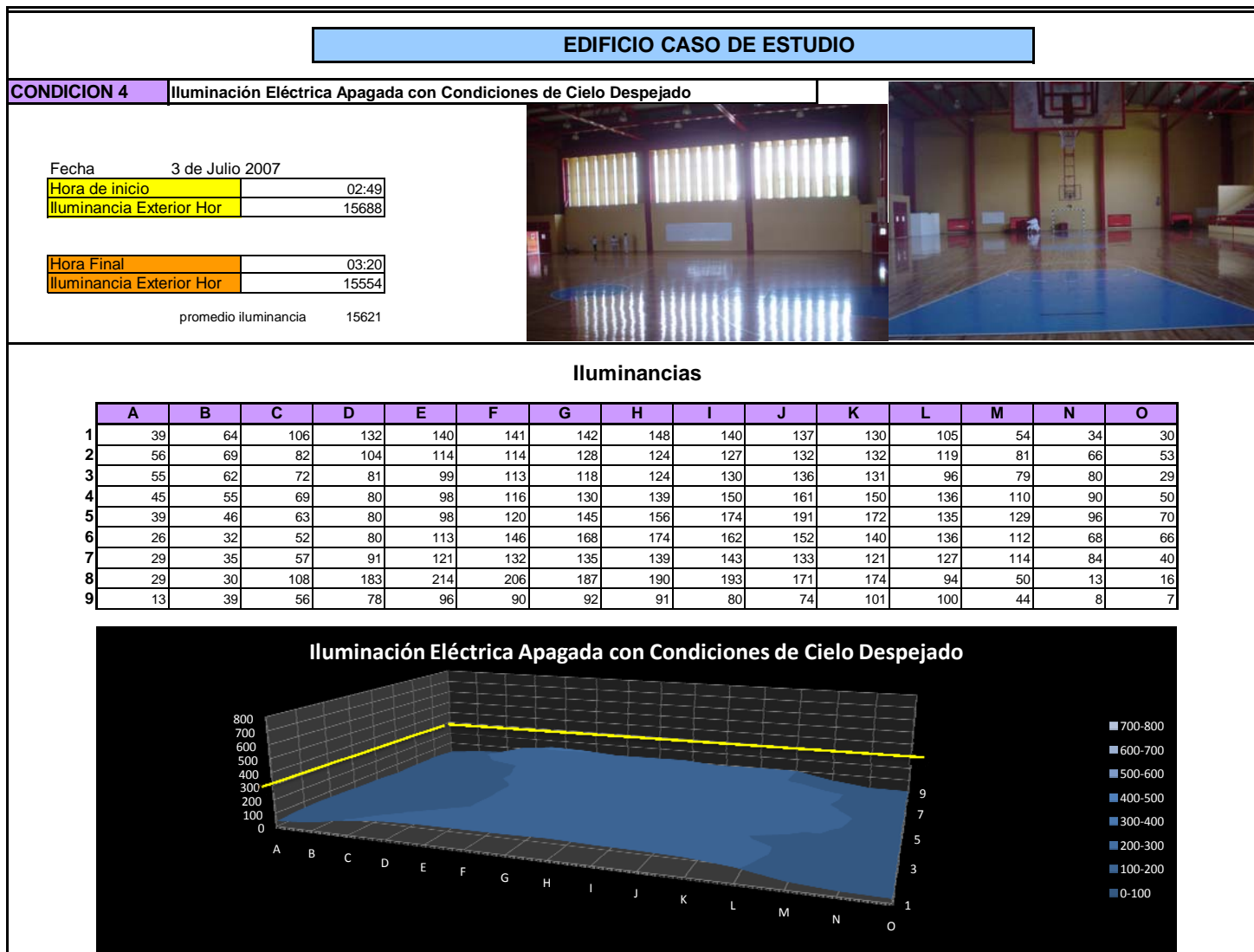
**Fig.162** Tabla y grafica de condición 2: Iluminación Eléctrica con Condiciones de Luz de Día y Cielo Nublado



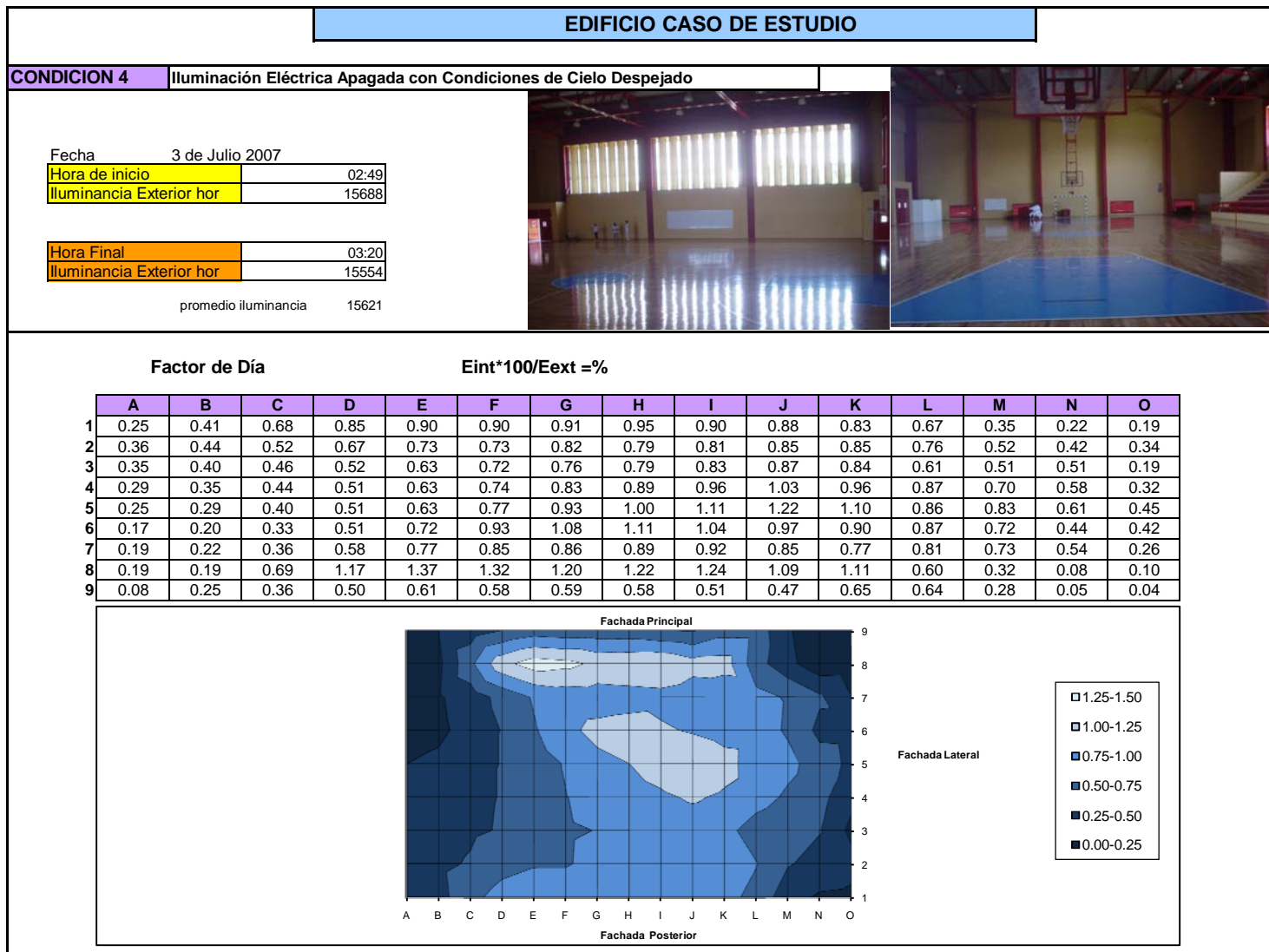




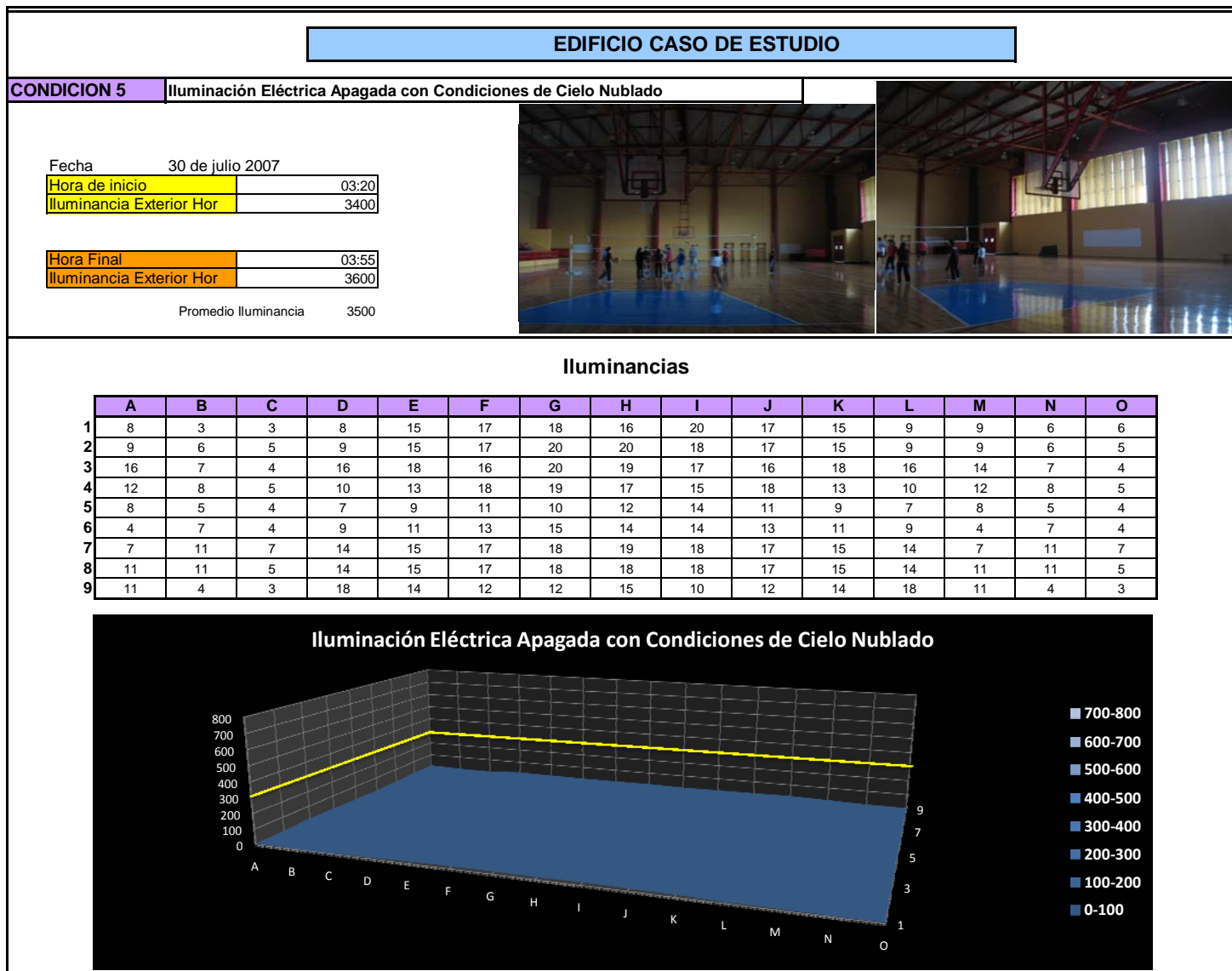
**Fig.164** Tabla y grafica en Condición 3: Iluminación Eléctrica con en condiciones de Noche



**Fig.165** Tabla y grafica en Condición 4: Cielo despejado con iluminación eléctrica apagada



**Fig.166** Condición 4: Cielo Despejado con Iluminación Eléctrica Apagada y luz de día.



**Fig.167** Tabla y grafica Condición 5: Iluminación eléctrica apagada con condiciones de cielo nublado

## EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

### CONDICION 5 Iluminación Eléctrica Apagada con Condiciones de Cielo Nublado

Fecha 27 de julio 2007

Hora de inicio 03:20  
Iluminancia Exterior Hor 4350

Hora Final 03:55  
Iluminancia Exterior hor 4905



Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.23	0.09	0.09	0.23	0.43	0.49	0.51	0.46	0.57	0.49	0.43	0.26	0.26	0.17	0.17
2	0.26	0.17	0.14	0.26	0.43	0.49	0.57	0.57	0.51	0.49	0.43	0.26	0.26	0.17	0.14
3	0.46	0.20	0.11	0.46	0.51	0.46	0.57	0.54	0.49	0.46	0.51	0.46	0.40	0.20	0.11
4	0.34	0.23	0.14	0.29	0.37	0.51	0.54	0.49	0.43	0.51	0.37	0.29	0.34	0.23	0.14
5	0.23	0.14	0.11	0.20	0.26	0.31	0.29	0.34	0.40	0.31	0.26	0.20	0.23	0.14	0.11
6	0.11	0.20	0.11	0.26	0.31	0.37	0.43	0.40	0.40	0.37	0.31	0.26	0.11	0.20	0.11
7	0.20	0.31	0.20	0.40	0.43	0.49	0.51	0.54	0.51	0.49	0.43	0.40	0.20	0.31	0.20
8	0.31	0.31	0.14	0.40	0.43	0.49	0.51	0.51	0.51	0.49	0.43	0.40	0.31	0.31	0.14
9	0.31	0.11	0.09	0.51	0.40	0.34	0.34	0.43	0.29	0.34	0.40	0.51	0.31	0.11	0.09

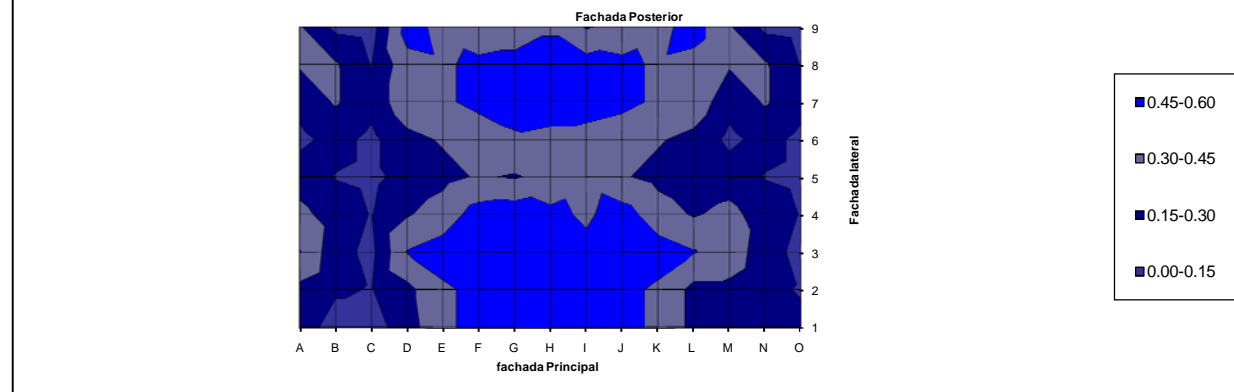
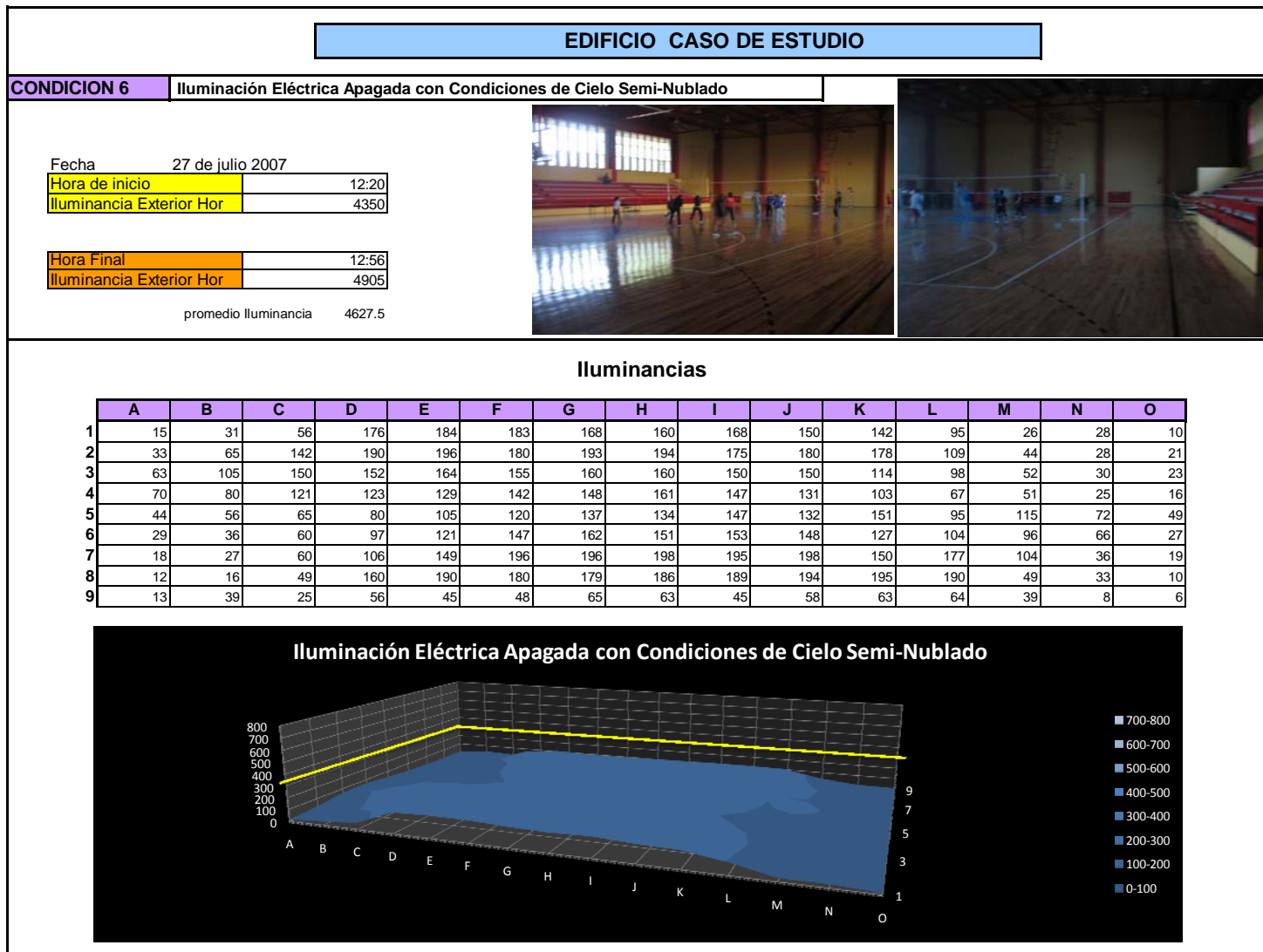
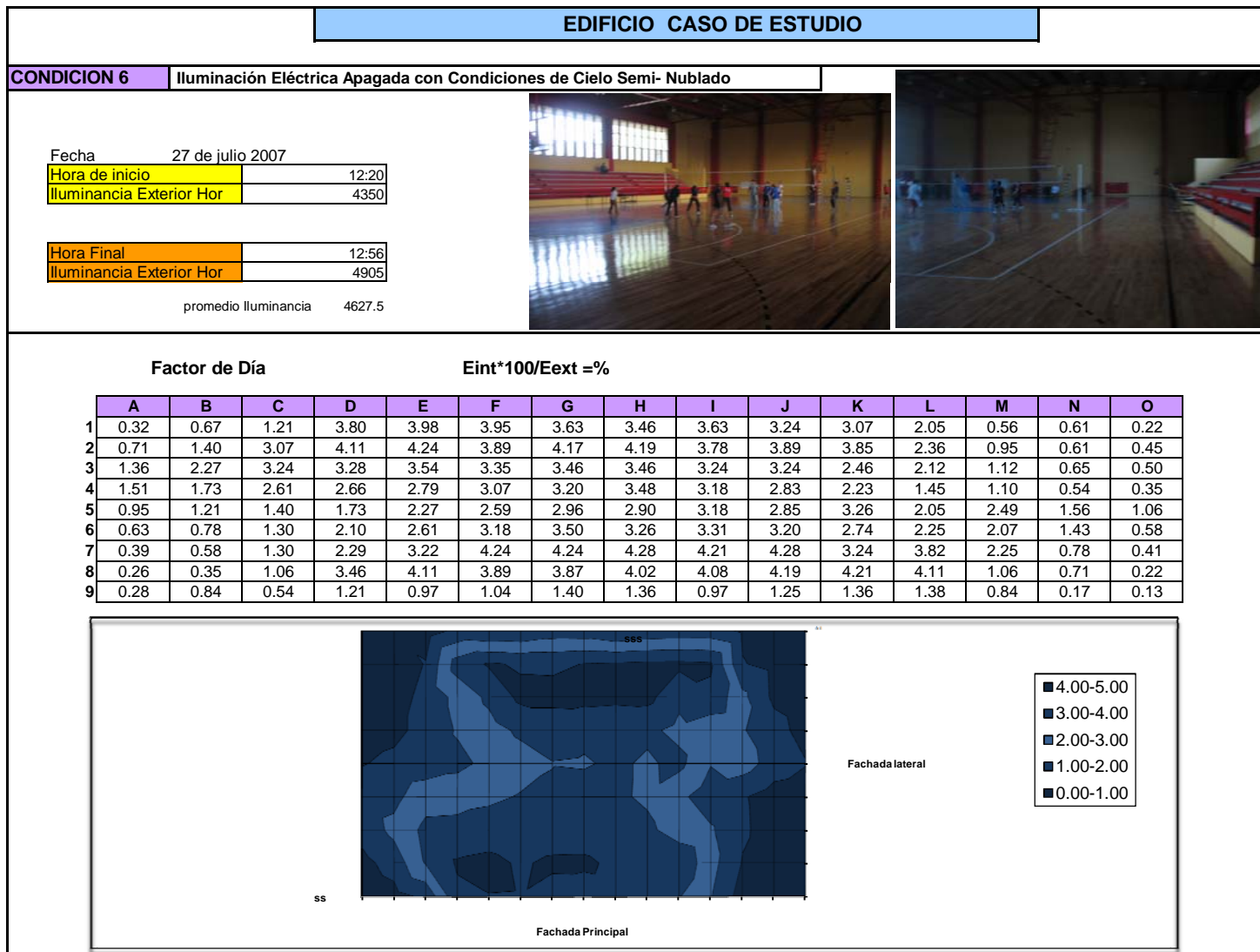


Fig.168 Condición 5: Iluminación Eléctrica Apagada con condiciones de luz de día y cielo Nublado



**Fig.169** Tabla y grafica Condición 6: Iluminación Eléctrica Apagada con Condiciones de Cielo Semi- Nublado



**Fig.170** Condición 6: Iluminación Eléctrica Apagada con Condiciones de luz de día y Cielo Semi- Nublado



## 7.8. Análisis de los Resultados

En la figura 160 se **observan las condiciones de iluminación con las 50 lámparas prendidas y bajo condiciones de cielo despejado**. Cada lámpara tiene una potencia de 400 Watts, considerando el número de lámparas (50pzas), el consumo total es de 20000 Watts, es decir 20 K/Wh por cada hora. El monitoreo se realizó de 14:00 a 15:00 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 9840 lux, al terminar de 9230 lux, con un promedio de 9535 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B N, y O, con niveles de 250 a 180 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes C al L, con 400 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte central de 740lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 466 lux, con una mínima de 133 lux, y una máxima de 650lux. La mayor parte del gimnasio cumple con los requerimientos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 161 **se indican las mismas condiciones de la figura 160, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa también que la mayor parte del gimnasio cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

**Bajo condiciones de luz de día y cielo nublado, con iluminación eléctrica**, tal como se ilustra en la figura 162 se observan las 50 lámparas prendidas y bajo condiciones de cielo Nublado. Cada lámpara tiene una potencia de 400 Watts, considerando el número de lámparas (50pzas), el consumo total es de 20,000 Watts, es decir 20 K/Wh por cada hora. El monitoreo se realizó de 14:00 a 15:00 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 3400 lux, al terminar de 3187 lux, con un promedio de 3293 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B, M, y O, con niveles de 323 lux a 143 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes C al N, con 532 lux a 340 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte central de 532 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 419 lux, con una

mínima de 133 lux, y una máxima de 695. La mayor parte del gimnasio cumple con los requerimientos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 163 se indican **las mismas condiciones de la figura 162, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa también que la mayor parte del gimnasio cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

En la figura 164 se observan las **condiciones de iluminación con las 50 lámparas prendidas y bajo condiciones de cielo nocturno**. Cada lámpara tiene una potencia de 400 Watts, considerando el número de lámparas (50pza), el consumo total es de 20000 Watts, es decir 20 K/Wh por cada hora. El monitoreo se realizó de 7:25 P.M. a 7:55 P.M. hrs. Permitió obtener los niveles reales de iluminación artificial. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, y O, con niveles de 189 a 120 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes B al N, con 440 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte central de 450 lux a 490 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 289 lux, con una mínima de 123 lux, y una máxima de 495. La mayor parte del gimnasio cumple con los requerimientos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones, pero con un alto consumo de energía eléctrica.

Bajo condiciones de **luz de día y cielo despejado**, con iluminación eléctrica apagada, tal como se ilustra en la figura 165 se observan condiciones insuficientes de iluminación natural. El área lateral presentó un efecto de deslumbramiento en el piso en la fachada Sur. El monitoreo se realizó de 14:49 a 15:20 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 15,688 lux, al terminar de 15,554 lux, con un promedio de 15,621 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B, N, y O, con niveles de 70 lux a 7 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes C al N, con 168 lux a 52 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte central de 174 a 183 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 101 lux, con una mínima de 7 lux,

y una máxima de 214. El gimnasio **NO** cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 166 **se indican las mismas condiciones de la figura 165, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux.** En esta figura se observa que el gimnasio **NO** cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

En la figura 167 **se observan bajo las condiciones de luz de día, con iluminación artificial apagada y cielo nublado.** La iluminación natural al interior del gimnasio es casi nula. El monitoreo se realizó de 3:20 a 15:55 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 3400 lux, al terminar de 3600 lux, con un promedio de 3500 lux. Los niveles mínimos se presentaron en todos los ejes del A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N y O, de forma uniforme con niveles de 3 lux a 20 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 12 lux, con una mínima de 3 lux, y una máxima de 20. El gimnasio **NO** cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones. Se encuentra totalmente oscuro.

En la figura 168 **se indican las mismas condiciones de la figura 167, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux.** En esta figura se observa que el gimnasio no cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

**Bajo condiciones de luz de día y cielo semi-nublado, con iluminación eléctrica** apagada, tal como se ilustra en la figura 169 se observan condiciones insuficientes de iluminación natural. El área lateral presento un efecto de deslumbramiento en el piso en la fachada Sur. El monitoreo se realizó de 12:20 a 12:56 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 4,350 lux, al terminar de 4,905 lux, con un promedio de 4,627 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los

ejes A, B, N y O con niveles de 80 lux a 6 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes C al M, con 154 lux a 63 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte laterales de 190 a 155 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 104 lux, con una mínima de 45 lux, y una máxima de 196. El gimnasio no cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 170 **se indican las mismas condiciones de la figura 167, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux.** En esta figura se observa que el gimnasio no cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

Se observo que las condiciones lumínicas del edificio real no cumplen con los requerimientos mínimos necesarios para su funcionamiento con la utilización únicamente de luz natural, si se utiliza la iluminación artificial si se cumple pero se tiene un alto consumo de energía para poder tener en funcionamiento durante el día este espacio.

## **7.9. Proceso para la Evaluación Lumínica en el Modelo Tridimensional**

En este proceso se identificaron los valores de iluminación recomendados, para determinar el uso o actividad “**situación ideal**”, a partir de la revisión de la normatividad y reglamentos nacionales e internacionales, relacionados con iluminación en espacios interiores. Esto permitió establecer la comparación de valores contenidos a través de mediciones en sitio, evaluados por el modelo físico tridimensional a escala estandarizado.. Los principales aspectos evaluados fueron:

- a) La relación de iluminancias recomendadas para zonas del campo visual, se recomiendan 300 lux, para gimnasios como requerimiento mínimo establecido en la norma internacional del CIE.
- b) La metodología propuesta para determinar valores existentes a través de un proceso de monitoreo que permitió describir de acuerdo a las condiciones de iluminación exterior cuales son los niveles de iluminancia interior y las cualidades lumínicas presentes en el espacio; así como la evaluación del modelo físico tridimensional a escala tanto en el cielo real como en el cielo artificial.
- c) Los resultados del monitoreo del modelo físico tridimensional, dieron datos determinantes para la selección de la alternativa de diseño de alta eficiencia propuesta y presentada en el capítulo VIII.

### **7.9.1. Elaboración del Modelo Tridimensional a Escala del Caso de Estudio**

Es una herramienta de análisis arquitectónico que determina niveles de luz de día aproximados en un espacio, permitiendo hacer una valoración a escala de un edificio

semejante a la realidad. Son útiles para tomar decisiones de afinación de diseño de los sistemas de control lumínico. Para el caso estudio serán los ductos lumínicos, los cuales se realizaran con variables definidas más adelante.

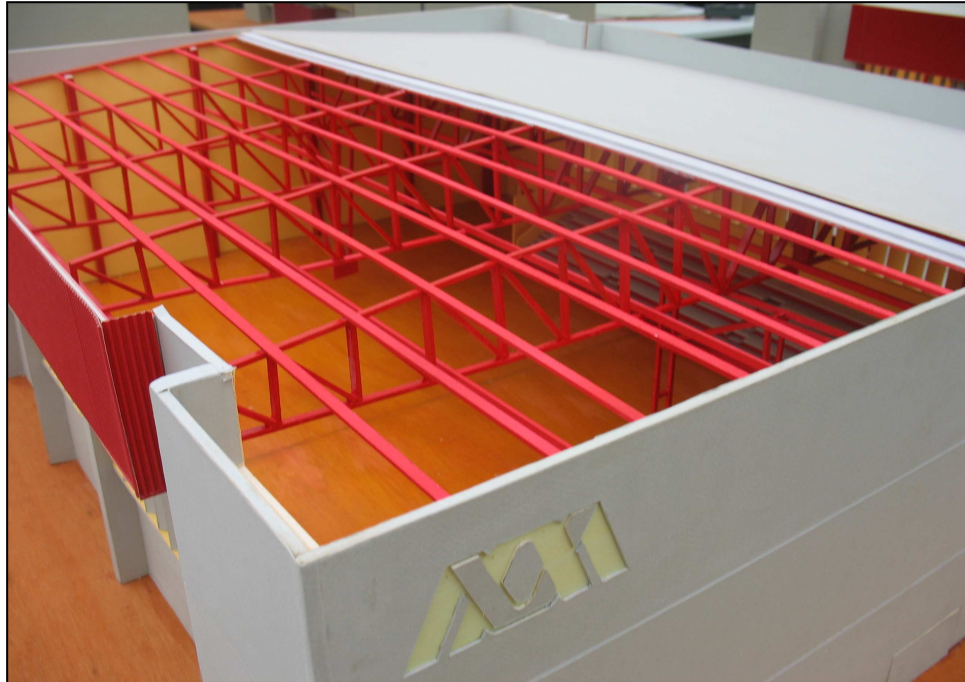
Cuando el modelo a escala está correctamente construido, considerando los porcentajes de transmitancia que sean semejantes a la realidad, con su distribución exactamente igual escala 1:1, es posible la reproducción de iluminación natural en el interior del espacio, no solo por aporte de luz directa que ingresa, sino además por la reflexión en las superficies internas del mismo (**Fig. 171**).



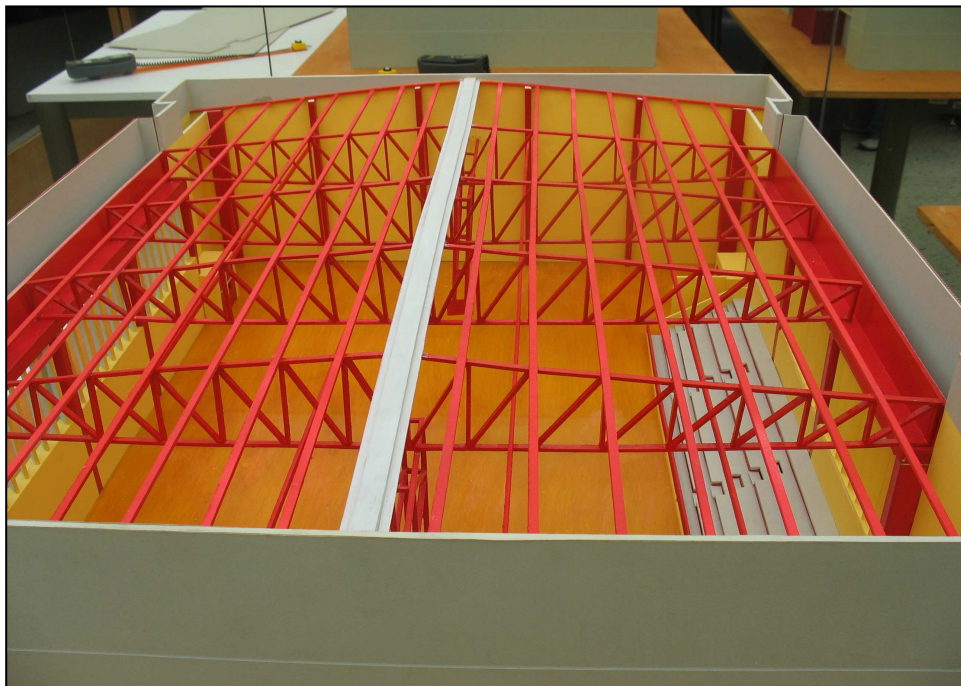
**Fig. 171** Modelo Tridimensional.

La elaboración de modelos a escala para estudios de iluminación se constituye en uno de los procedimientos experimentales para análisis y simulación de luz natural de mayor efectividad frente a procedimientos analíticos y gráficos, que permite hacer evaluaciones de este recurso bajo condiciones de cielo exterior y cielo artificial. La

realización de maquetas de estudio permite evaluar la calidad del espacio iluminado (Fig. 172 y 173).



**Fig. 172** Modelo tridimensional estructura del gimnasio, con un techo puesto.



**Fig. 173** Modelo tridimensional estructura del gimnasio.

Utilización de modelo tridimensional para evaluar el comportamiento lumínico. Se obtienen valores de parámetros lumínicos con precisión siempre y cuando el modelo físico tridimensional reproduzca exactamente, los valores de las características físicas del edificio real, tales como reflectancia y transmitancia. La velocidad de la luz en el interior de la maqueta se realiza por medio de múltiples inter-reflecciones, con lo cual los valores obtenidos de niveles de iluminancia son iguales a los del edificio real (Fig. 174).



**Fig. 174** Modelo tridimensional estructura del gimnasio, con un techo puesto.

La evaluación de la luz natural en modelos a escala es muy recomendable porque además de permitir un análisis cuantitativo (valores interiores medidos) otorga datos cuantitativos de la distribución de la iluminancia interior e información cuantitativa.

La calibración del modelo tridimensional es de gran relevancia debido, a que la luz no tiene dimensión escalar por lo tanto, los valores de iluminancia medidos en el modelo tridimensional son los mismos que se registran en el edificio del caso estudio.



Se presentan una comparación fotográfica del modelo real y el modelo físico al interior de cada uno (Figs. 175, 176, 177 y 178).



**Fig. 175** Modelo tridimensional vista al interior vista lateral.



**Fig. 176** Modelo tridimensional vista al interior.



**Fig. 177** Edificio real vista al interior.



**Fig. 178** Edificio Real vista al interior.

La evaluación en modelos a escala puede realizarse bajo una bóveda celeste natural o en un cielo artificial.

Las maquetas son ensayos tridimensionales de diferentes condiciones de iluminación, comprobando así su funcionamiento para efectuar mediciones comparativas que permitan establecer respectivos grados de adecuación, de los diseños resultantes del proceso de alternativas; efectuando en diferentes condiciones de inclinación y difusión de luz solar permitan una medición luxométrica representativa de la transmisión total y distribución de la iluminación.

Los modelos a escala proporcionan cuantitativamente datos para el estudio de iluminación natural. Permiten la utilización de sensores al interior para el monitoreo. Son ideales para un estudio paramétrico, a partir de modelos con techos y paredes móviles para comprobar diferentes opciones de diseño. Muestran la interacción de la luz con las superficies, permitiendo la toma de fotografías para determinar el comportamiento de la entrada de luz natural, de una manera gráfica para su estudio y documentación.

### 7.9.2. Metodología del las Mediciones en el Modelo del Caso de Estudio

Se realizó un análisis con el modelo tridimensional a escala del gimnasio, tomando mediciones dentro del modelo a escala, los resultados permitieron crear un parámetro de comparación con el edificio real (**Fig. 179**).



**Fig. 179** Maqueta del gimnasio escala 1:20

Las variables de estudio utilizadas en el modelo tridimensional fueron:

- a) El techo de la maqueta es intercambiable, tiene una base que permite la variación del estudio del prototipo de sistema lumínico de alta eficiencia.
- b) Las ventanas son 6 módulos que se pueden retirar para abrir la maqueta y darle mantenimiento.



- c) Tiene 5 orificios del lado de la fachada este, permite el paso del luxómetro y la toma de fotografías (**Figs. 180 y 181**).



**Fig.180** Funcionamiento de las aberturas para la toma de mediciones.



**Fig.181** Funcionamiento de las aberturas para la toma de mediciones.

- d) Las mediciones se realizaron con el luxómetro. Dentro de las mediciones se fueron haciendo con una regla de acrílico marcada en escala a cada 3 metros (**Fig. 182**).



**Fig.182** Toma de mediciones dentro del modelo tridimensional.

- e) Equipo de laboratorio. Se utilizaron dos luxómetros para realizar las mediciones con rango de 0 a 200,000 lux (**Figs. 183 y 184**).

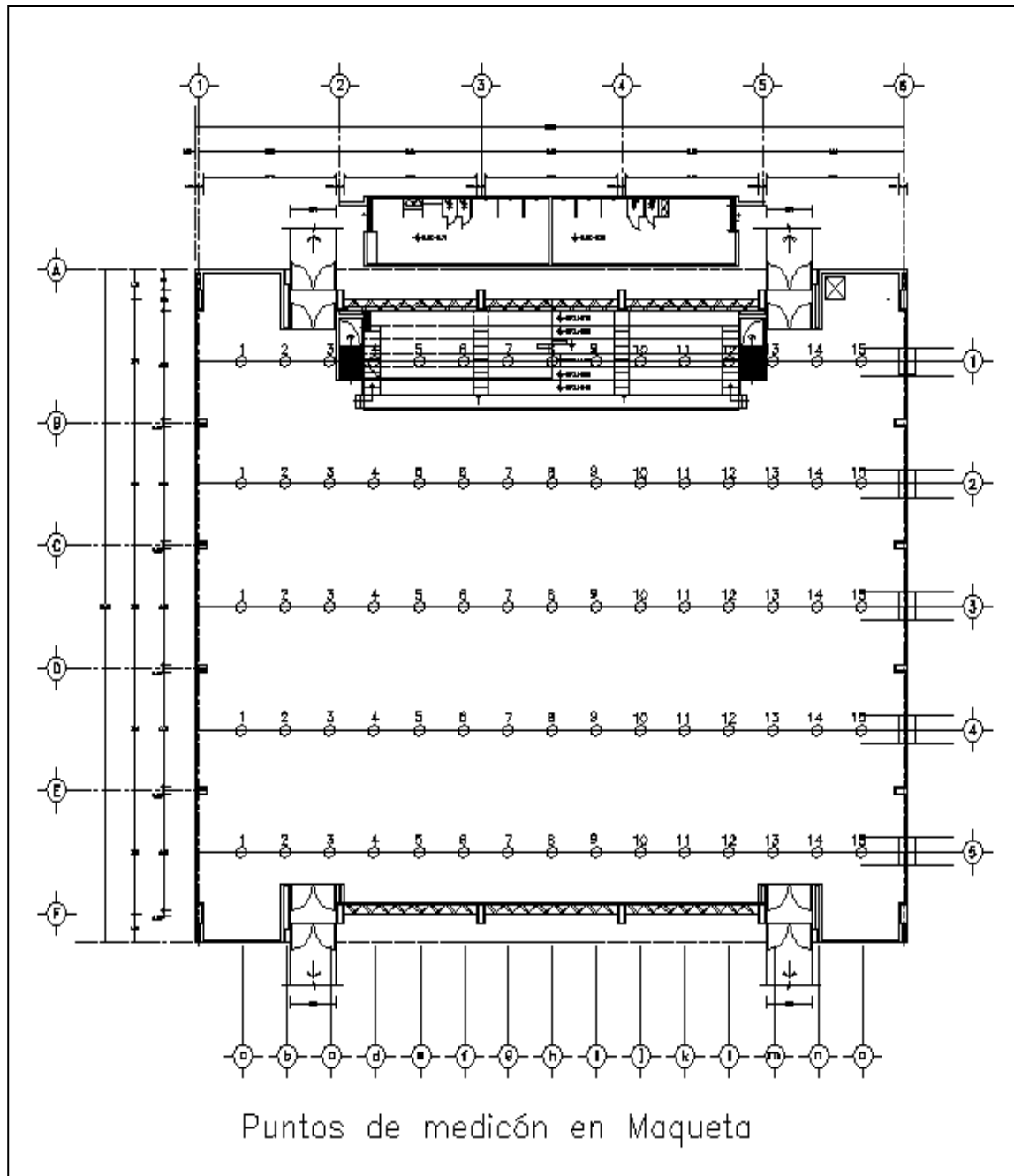


**Fig.183** Luxómetro rango 0 a 200,000 lux EXTECH light meter modelo 401025



**Fig.184** Luxómetro rango de 0 a 200,000 lux. AEMC modelo CA813

- f) La planta de la maqueta se retículo de 3x3 metros, se dispusieron 5 hileras para la toma de mediciones con cinco coordenadas verticales y catorce coordenadas horizontales dando una matriz de 70 puntos medibles dentro de la maqueta. (Fig. 185)



**Fig. 185** Planta con los puntos de la matriz del modelo a escala. Ver ANEXO III.

### 7.9.3. Análisis de los Datos Obtenidos por el Monitoreo.

Se realizó un análisis en Excel de los datos obtenidos en el modelo tridimensional con el luxómetro como equipo de medición. Para este fin se realizó la siguiente evaluación lumínica, con cuatro condiciones diferentes (Tabla 20).

EVALUACIÓN LUMINICA			
MODELO TRIDIMENSIONAL	Como en la realidad del edificio de caso de estudio	Cielo Artificial	CONDICIÓN 7
		Cielo Despejado	CONDICIÓN 8
		Cielo Nublado	CONDICIÓN 9
		Cielo semi Nublado	CONDICIÓN 10

**Tabla 20** condiciones de evaluación lumínica en modelo tridimensional.

Las mediciones del modelo tridimensional se realizaron en condiciones al exterior con el uso del sol como fuente lumínica, con cielo despejado, cielo Semi-nublado y cielo Nublado. Estas condiciones son semejantes a las del edificio real, los resultados de estas mediciones permitirán tener un parámetro de comprobación de eficiencia para la aplicación de dispositivos de alta eficiencia energética.



La realización de las tablas se hizo de la siguiente manera:

1. Datos del monitoreo y grafica de comportamiento lumínico.
2. Datos del monitoreo aplicando el factor de día, con grafica de Isolux.
3. Datos del monitoreo afectados con el coeficiente de trasmittancia con graficas de comportamiento lumínico,

En la primera tabla se colocaron los datos de las mediciones en una matriz de forma horizontal de la coordenada A a la O y de forma vertical de la coordenada 1 a la 5, realizando “Graficas de Isolux”. Se interpretó el comportamiento lumínico de forma tridimensional que corresponde a las coordenadas establecidas por la retícula colocado en el gimnasio.

La segunda, toma las mediciones obtenidas en el monitoreo de la primera tabla, para calcular el Factor de Día mediante la fórmula de  $li / le \times 100$ . Con estos datos se grafica la vista en planta del gradiente de iluminación. Como resultado se obtuvo el coeficiente de iluminación.

La tercera, retomó los datos de la primera tabla del monitoreo aplicando el coeficiente de trasmittancia de los vidrios del área de ventanas, que es del 20%. Es decir que de la tabla uno se multiplica los lux medidos por 0.80%, esto determina el coeficiente de pérdida de iluminación por el vidrio, que es del 20%.

## **7.10. Monitoreo del Modelo Tridimensional. Tablas y Graficas.**

Se presenta el monitoreo de las cuatro condiciones lumínicas realizadas en el modelo tridimensional de la figura 186 a la 193, compuesto por los siguientes elementos:

1. Se definió la condición lumínica de la **tabla 22**.
2. Se monitoreó el modelo tridimensional, según la condición lumínica
3. Se capturó la información en tablas, programadas en Excel.
4. Se realizaron los gráficos del comportamiento con patrones cromáticos de Isolux.

Con estos elementos se realizó el monitoreo al modelo tridimensional, para conformar las figuras que fueron analizadas en la siguiente sección.

**7.10.1.1.** Condición 7: modelo tridimensional en condiciones de Cielo Artificial, en las misma Condiciones del Edificio de Caso de Estudio.

**7.10.1.2.** Condición 7: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo Artificial, en las misma Condiciones del Edificio de Caso de Estudio con Factor de Día.

**7.10.2.1.** Condición 8: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo despejado.

**7.10.2.2.** Condición 8: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo despejado con Factor de Día.

**7.10.3.1.** Condición 9: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado y luz de Día.

**7.10.3.2.** Condición 9: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado y luz de Día con Factor de de Día.

**7.10.4.1.** Condicion 10: Modelo tridimensional en condiciones de cielo semi- nublado.

**7.10.4.2.** Condición 10: Modelo tridimensional en condiciones de cielo semi-nublado y luz de Día.

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 7 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Artificial

Fecha 10 de noviembre 2007

Hora de inicio 02:20  
Iluminancia Exterior Hor 1888

Hora Final 02:46  
Iluminancia Exterior Hor 1985

Promedio de Iluminancia 1936.5



### Iluminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	8	37	14	26	40	41	39	39	36	37	33	33	20	7	2
2	7	19	23	27	27	30	31	28	28	26	12	12	5	2	3
3	5	13	9	12	15	14	16	16	16	14	9	9	6	4	3
4	2	24	8	14	16	19	25	26	26	24	20	20	15	9	6
5	1	2	3	21	34	39	40	38	46	41	43	43	19	4	2

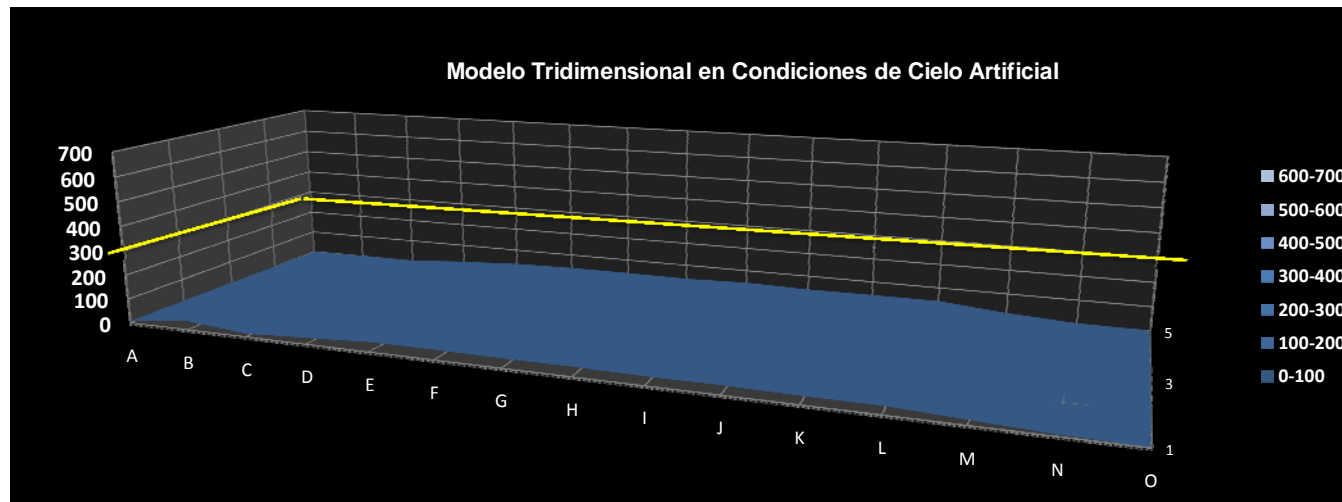


Fig. 186 Condición 7: modelo tridimensional en condiciones de Cielo Artificial, en las misma Condiciones del Edificio de Caso de Estudio

## Modelo Tridimensional

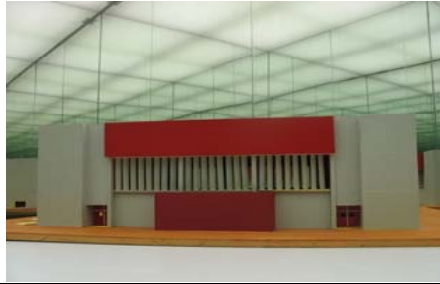
### CONDICION 7 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Artificial

Fecha 10 de noviembre 2007

Hora de inicio	02:20
Iluminancia Exterior Hor	1888

Hora Final	02:46
Iluminancia Exterior Hor	1888

Promedio de Iluminancia 1888



#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.41	1.91	0.72	1.34	2.07	2.12	2.01	2.01	1.86	1.91	1.70	1.70	1.03	0.36	0.10
2	0.36	0.98	1.19	1.39	1.39	1.55	1.60	1.45	1.45	1.34	0.62	0.62	0.26	0.10	0.15
3	0.26	0.67	0.46	0.62	0.77	0.72	0.83	0.83	0.83	0.72	0.46	0.46	0.31	0.21	0.15
4	0.10	1.24	0.41	0.72	0.83	0.98	1.29	1.34	1.34	1.24	1.03	1.03	0.77	0.46	0.31
5	0.05	0.10	0.15	1.08	1.76	2.01	2.07	1.96	2.38	2.12	2.22	2.22	0.98	0.21	0.10

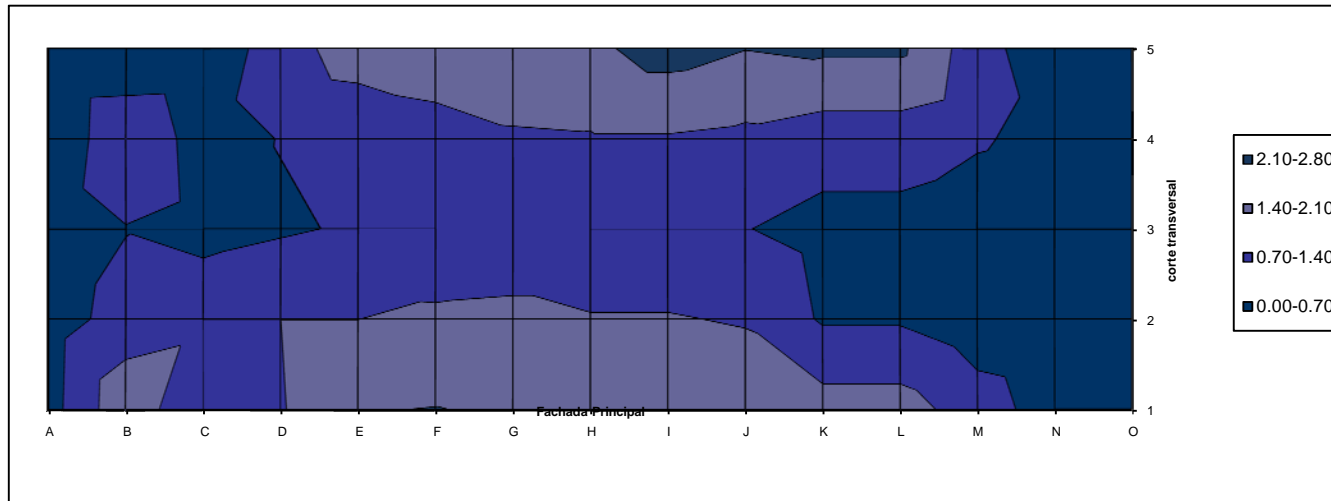


Fig. 187 Condición 7: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo Artificial, en las misma Condiciones del Edificio de Caso de Estudio con Factor de Día.

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 8 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Despejado

Fecha 30 de octubre del 2007

Hora de inicio	12:10
Iluminancia Exterior Hor	12780

Hora Final	12:28
Iluminancia Exterior Hor	13320

Promedio 13050



### Iluminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	39	64	106	132	140	141	142	148	140	137	130	105	54	34	30
2	34	62	72	81	99	113	118	124	130	136	131	96	79	80	29
3	45	55	69	80	98	116	130	139	150	161	150	136	110	90	50
4	26	32	52	80	113	146	168	174	162	152	140	136	112	68	66
5	13	39	56	78	96	90	92	91	80	74	101	100	44	26	7

### Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Despejado

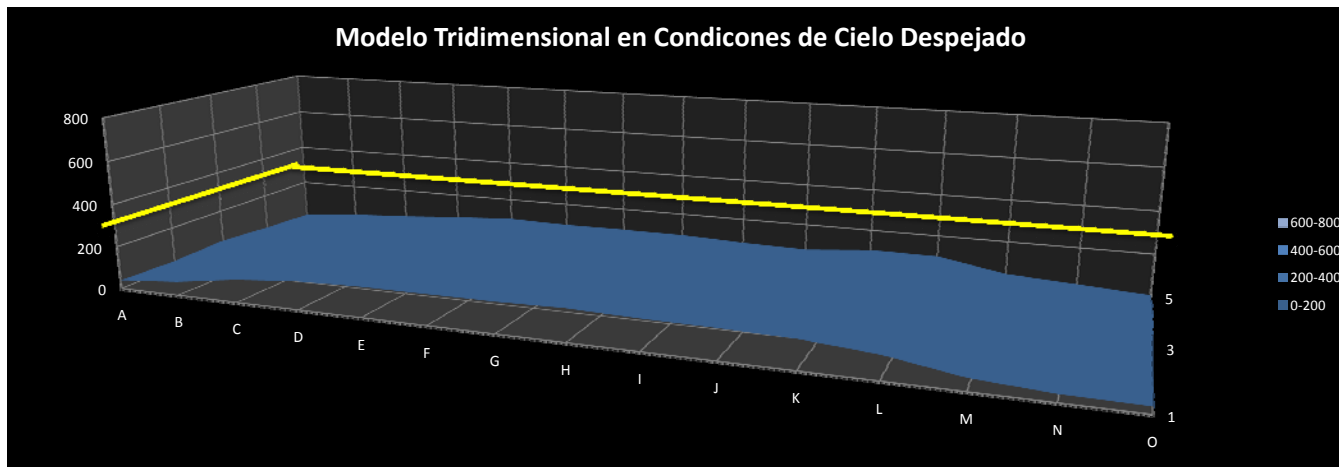


Fig. 188 Condición 8: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo despejado

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 8 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Despejado

Fecha

Hora de inicio 12:10

Iluminancia Exterior Hor 12780

Hora Final 12:28

Iluminancia Exterior Hor 13320

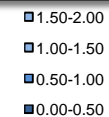
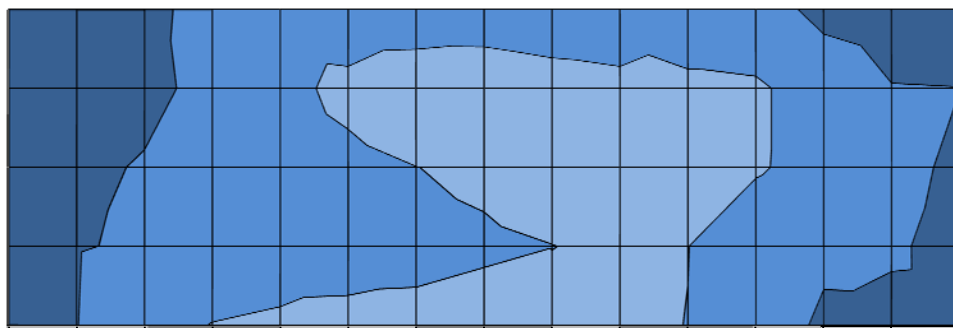
Promedio 13050



Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.30	0.49	0.81	1.01	1.07	1.08	1.09	1.13	1.07	1.05	1.00	0.80	0.41	0.26	0.23
2	0.26	0.48	0.55	0.62	0.76	0.87	0.90	0.95	1.00	1.04	1.00	0.74	0.61	0.61	0.22
3	0.34	0.42	0.53	0.61	0.75	0.89	1.00	1.07	1.15	1.23	1.15	1.04	0.84	0.69	0.38
4	0.20	0.25	0.40	0.61	0.87	1.12	1.29	1.33	1.24	1.16	1.07	1.04	0.86	0.52	0.51
5	0.10	0.30	0.43	0.60	0.74	0.69	0.70	0.70	0.61	0.57	0.77	0.77	0.34	0.20	0.05



Puntos de Medición Longitudinal

Fig. 189 Condición 8: Modelo tridimensional en condiciones de Cielo despejado con factor de día

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 9 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Nublado

Fecha 9 de noviembre del 2007

Hora de inicio 02:20

Iluminacion Exterior Hor 4860

Hora Final 02:42

Iluminacion Exterior Hor 4300

Promedio 4580



### Iluminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	19	20	23	27	29	44	47	44	46	39	30	30	13	12	11
2	29	32	41	51	47	53	50	44	40	39	28	22	15	14	13
3	13	20	20	23	26	29	33	36	34	35	34	32	30	25	23
4	20	25	30	36	44	43	48	56	66	68	69	69	68	58	30
5	10	18	20	40	66	73	90	98	96	79	47	44	17	16	12

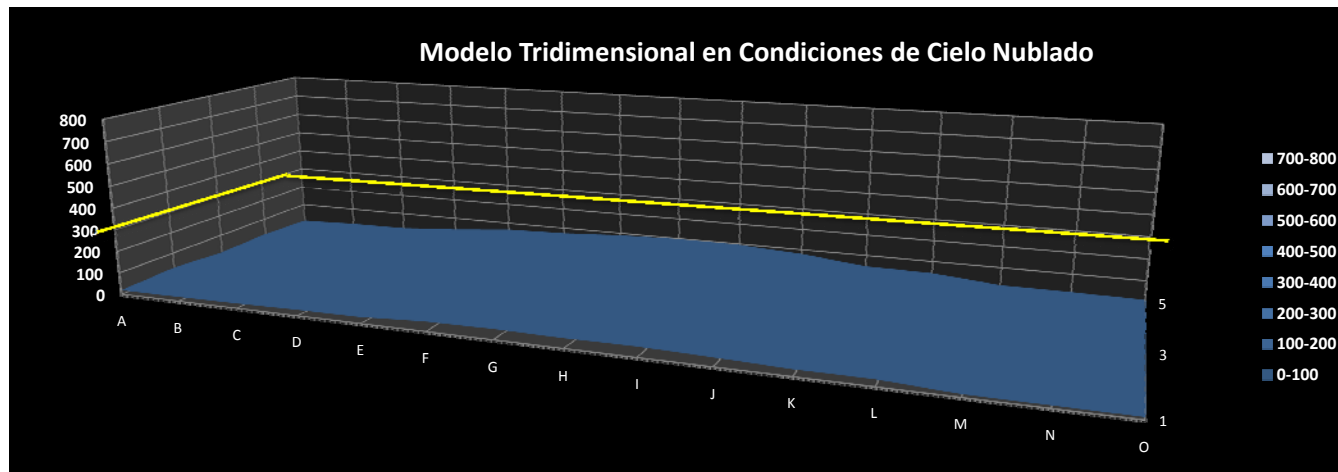


Fig. 190 Condición 9: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado y luz de día

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 9 Modelo Tridimensional en Condiciones de Cielo Nublado

Fecha 9 de noviembre del 2007

Hora de inicio	02:20
Iluminacion Exterior Hor	4860

Hora Final	02:42
Iluminacion Exterior Hor	4300

Promedio 4580



#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.41	0.44	0.50	0.59	0.63	0.96	1.03	0.96	1.00	0.85	0.66	0.66	0.28	0.26	0.24
2	0.63	0.70	0.90	1.11	1.03	1.16	1.09	0.96	0.87	0.85	0.61	0.48	0.33	0.31	0.28
3	0.28	0.44	0.44	0.50	0.57	0.63	0.72	0.79	0.74	0.76	0.74	0.70	0.66	0.55	0.50
4	0.44	0.55	0.66	0.79	0.96	0.94	1.05	1.22	1.44	1.48	1.51	1.51	1.48	1.27	0.66
5	0.22	0.39	0.44	0.87	1.44	1.59	1.97	2.14	2.10	1.72	1.03	0.96	0.37	0.35	0.26

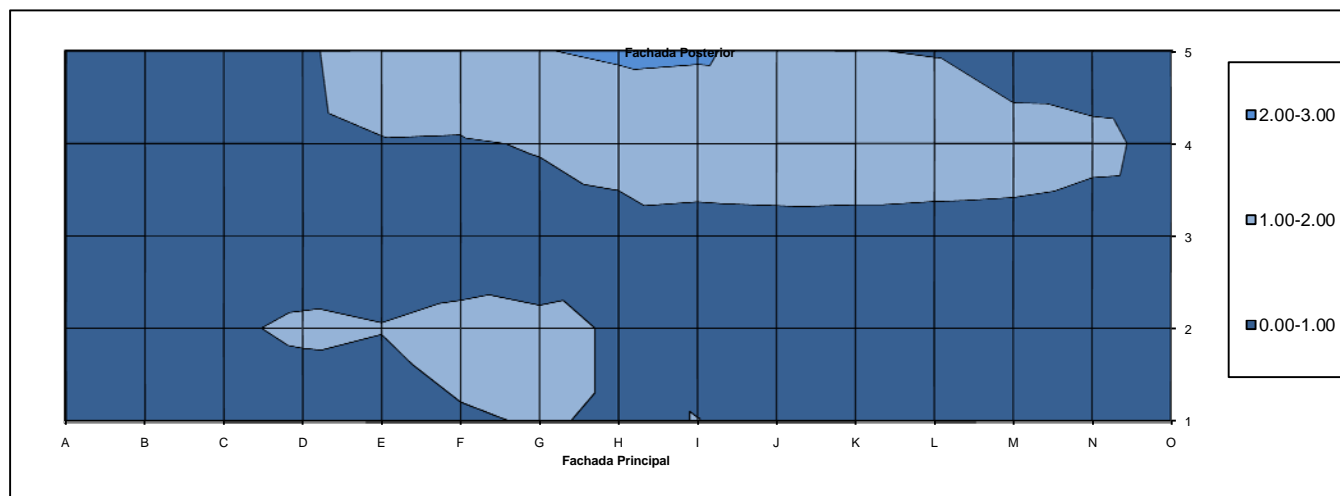


Fig. 191 Condición 9: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado y luz de día con factor de día.



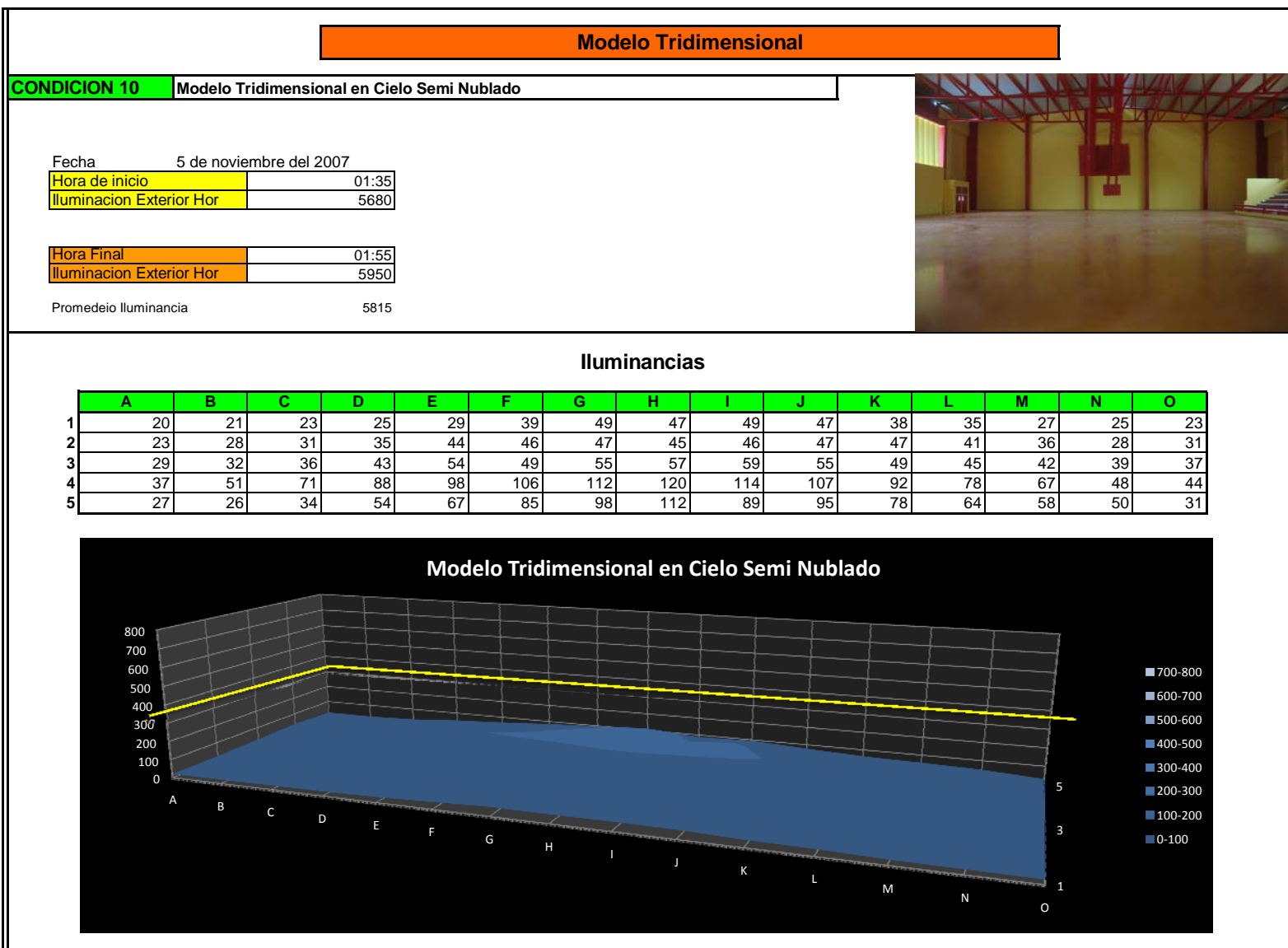


Fig. 192 Condicion 10: Modelo tridimensional en condiciones de cielo semi-nublado

## Modelo Tridimensional

### CONDICION 10 Modelo Tridimensional en Cielo Semi Nublado

Fecha 5 de noviembre del 2007

Hora de inicio	01:35
Iluminacion Exterior Hor	5680

Hora Final	01:55
Iluminacion Exterior Hor	5950

Promedeio Iluminancia 5815



#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.34	0.36	0.40	0.43	0.50	0.67	0.84	0.81	0.84	0.81	0.65	0.60	0.46	0.43	0.40
2	0.40	0.48	0.53	0.60	0.76	0.79	0.81	0.77	0.79	0.81	0.81	0.71	0.62	0.48	0.53
3	0.50	0.55	0.62	0.74	0.93	0.84	0.95	0.98	1.01	0.95	0.84	0.77	0.72	0.67	0.64
4	0.64	0.88	1.22	1.51	1.69	1.82	1.93	2.06	1.96	1.84	1.58	1.34	1.15	0.83	0.76
5	0.46	0.45	0.58	0.93	1.15	1.46	1.69	1.93	1.53	1.63	1.34	1.10	1.00	0.86	0.53

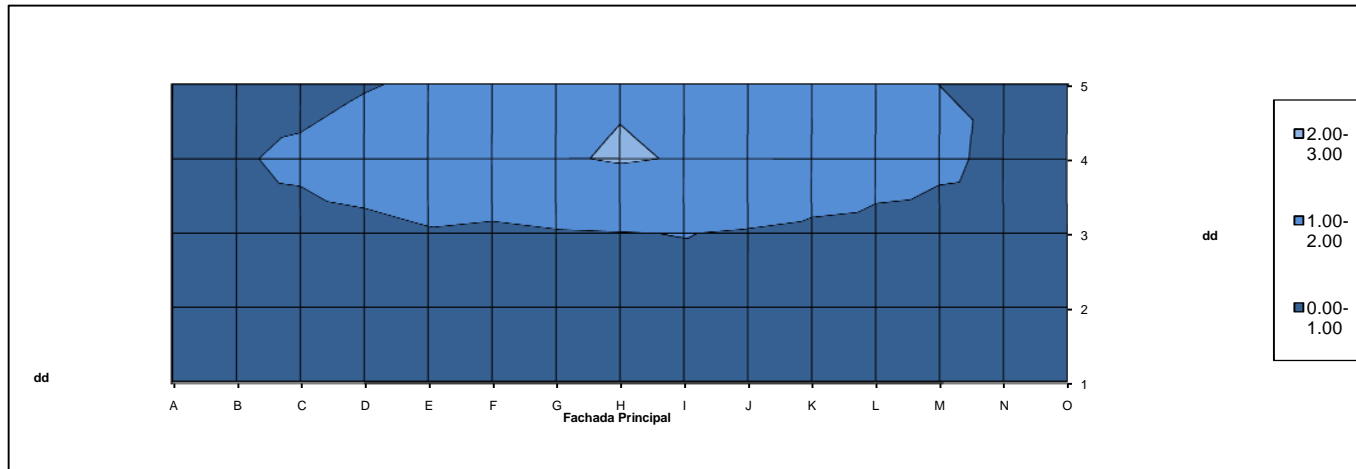


Fig. 193 Condición 10: Modelo tridimensional en condiciones de cielo semi-nublado y luz de día.

### 7.11. Análisis de los Resultados del Modelo Tridimensional

En la figura 186 se observan las **condiciones de iluminación en el modelo tridimensional, bajo la condiciones de cielo artificial**, donde se simulan condiciones de cielo nublado. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 1888 lux, al terminar de 1985 lux, con un promedio de 1936 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, M, N y O, con niveles de 46 lux a 1 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 19 lux, con una mínima de 1 lux, y una máxima de 46. El gimnasio **NO** cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones. Se encuentra totalmente oscuro.

En la figura 187 se **indican las mismas condiciones de la figura 186, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa que el gimnasio **NO** cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales. Se encuentra totalmente oscuro.

Bajo condiciones **de luz de día y cielo despejado, tal como se ilustra en la figura 188 se observan condiciones insuficientes de iluminación natural**. El monitoreo se realizó de 12:10 a 12:28 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 12780 lux, al terminar de 13320 lux, con un promedio de 13050 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B, N y O con niveles de 55 lux a 7 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes C al M, con 150 lux a 69 lux. Se presentaron picos de intensidad en la parte laterales cerca de la ventana sur de 174 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 94 lux, con una mínima de 32 lux, y una máxima de 168. El gimnasio **NO** cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 189 se indican las mismas **condiciones de la figura 188, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa que el gimnasio **NO** cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

En la figura 190 se observan las **condiciones de iluminación en el modelo tridimensional, bajo la condiciones de cielo nublado y luz de día**. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 4860 lux, al terminar de 4300 lux, con un promedio de 4580 lux. El monitoreo se realizó de 2:20 a 2:42 hrs. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B,C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, N y O con niveles de 73 lux a 10 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 37 lux, con una mínima de 11 lux, y una máxima de 56. El gimnasio **NO** cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 191 se indican las **mismas condiciones de la figura 190, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa que el gimnasio no cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

Bajo condiciones **de luz de Día y cielo semi-nublado, tal como se ilustra en la figura 192 se observan condiciones insuficientes de iluminación natural**. El monitoreo se realizó de 1:35 a 1:55 hrs. La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 5680 lux, al terminar de 5960 lux, con un promedio de 5815 lux. Los niveles mínimos se presentaron en los ejes A, B, C, D, E, K, L, M, N y O, con niveles de 55 lux a 7 lux. Los niveles medios se presentaron de los ejes E, F, G, H, I, J, con 92 lux a 47 lux. El promedio de iluminancia en el gimnasio es de 52 lux, con una mínima de 23 lux, y una máxima de 120. El gimnasio no cumple con los requerimientos mínimos de los niveles de iluminancia bajo estas condiciones.

En la figura 193 se indican las mismas **condiciones de la figura 192, en patrones cromáticos de Factor de Día, expresados en Isolux**. En esta figura se observa que el gimnasio **NO** cumple con los requerimientos de niveles de luminancia que establecen los estándares nacionales e internacionales.

#### **7.12. Análisis Comparación del Edificio de Caso de Estudio y el Modelo Tridimensional.**

Datos de comparación del comportamiento lumínico del edificio Caso de estudio contra el modelo tridimensional como resultado del análisis lumínico.

El comportamiento lumínico en el edificio real tiene la misma secuencia de comportamiento lumínico en la maqueta, esto se debe a que las condiciones de reflectancia de ambos modelos son iguales. Con esto se determina que el modelo a escala puede ser utilizado para proponer las alternativas de diseño lumínico sistemas de alta eficiencia energética con la **confiabilidad** de los datos que puedan ser aplicados al edificio real. Ver Figura de comparación del comportamiento lumínico del edificio real y el modelo tridimensional. (Fig.194)

## Comparación del Comportamiento Lumínico del Edificio Real y el Modelo Tridimensional

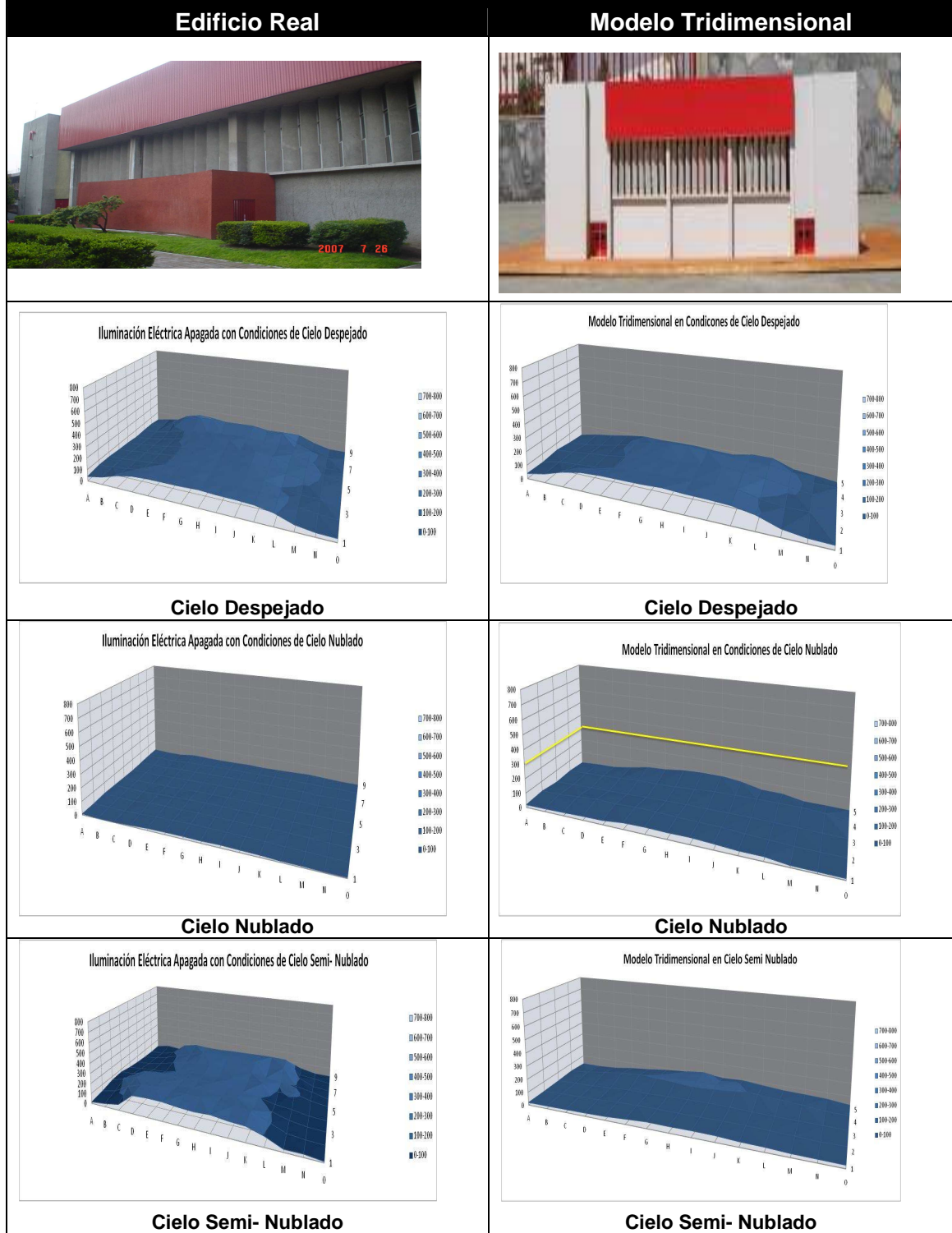


Fig. 194 Comparación lumínica del edificio Caso de Estudio contra el edificio en modelo tridimensional

## CAPÍTULO VIII

### SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO



## **CAPÍTULO VIII**

### **SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

#### **8.1 Proceso Metodológico para la Selección de Alternativas**

La selección de alternativas de diseño trató principalmente, de evaluar la eficacia de ductos lumínicos en términos de distribución de la salida o de la intensidad de lumínica, en el funcionamiento de la luz del día en términos de disponibilidad de la luz del día y ahorros de la energía eléctrica en el interior.

Los ductos lumínicos tienen un sistema de iluminación natural que capta la luz del sol mediante aberturas situadas en la cubierta del edificios y la transporta hacia el interior, utilizando un conducto altamente reflectante captando, la luz a partir de múltiples inter-reflexiones de los rayos solares, Esto permite iluminar espacios oscuros ó sin ventanas incluso cuando no estén directamente bajo la cubierta.

En el Caso de Estudio se propuso un sistema de iluminación cenital que permitiera iluminar el área de juego sin afectar su funcionamiento, a partir de la mayor utilización diurna, sin consumir energía eléctrica a partir de un sistema de innovación tecnológica, como son los ductos lumínicos.

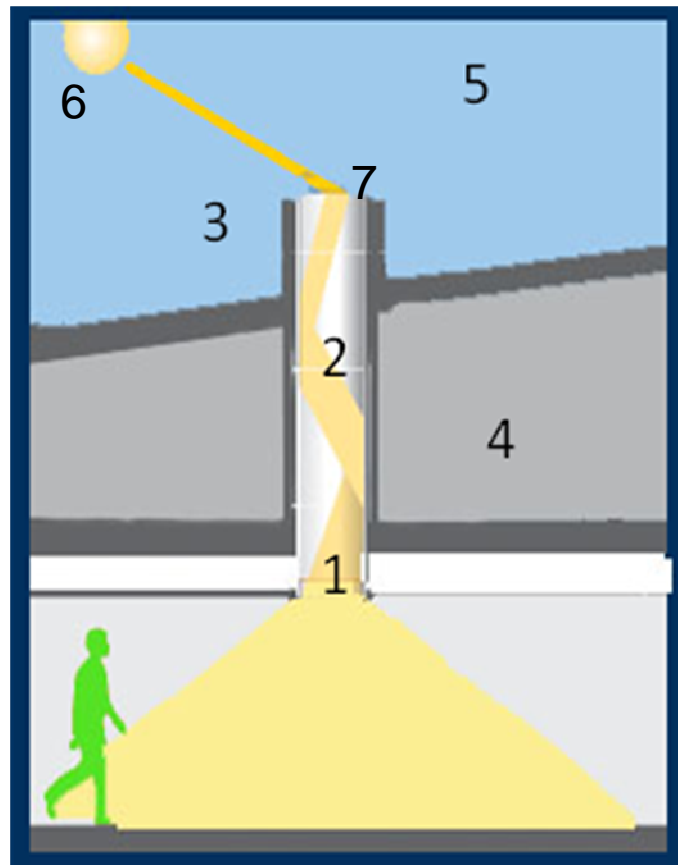
El proceso metodológico se dividió en cuatro fases:

- **Fase 1.** Determinación de las variables de diseño aplicadas, al caso de estudio.
- **Fase 2.** Describir los pasos para la realización, en el caso de estudio, es decir la viabilidad.
- **Fase 3.** Evaluación experimental de las alternativas de diseño.
- **Fase 4** Análisis e interpretación de los Resultados.



## 8.2. Fase 1. Determinación de las Variables de Diseño al Caso de Estudio.

Las variables de diseño aplicadas en los ductos lumínicos, determinan la eficiencia lumínica mediante ahorros energéticos que conlleven, al correcto funcionamiento de los rangos de confort lumínico para ser aplicados en el caso de estudio, como alternativa de alta eficiencia energética natural (Fig. 195).



**Fig. 195.** Diagrama de variables, el numero 1 determina el diámetro, el numero 2 los materiales, el numero 3 la geometría, el número 4 la distribución espacial, el numero 5, condiciones de cielo, el número 6 la orientación y el número 7 la cubierta.

Se determinan a partir de:

1. **Diámetro:** se proponen dos diámetros de 45 cm y 60 cm para el análisis del comportamiento lumínico.
2. **Materiales utilizados al interior:** se considera la reflectancia blanca para compararlo con la reflectancia especular<sup>23</sup>.
3. **Geometría:** analiza la longitud interior propuesta a nivel de plafón, y la longitud exterior se propone en dos variables de 60 cm y 90 cm para medir el comportamiento lumínico con el efecto de reflectancia producido en el techo.<sup>24</sup>
4. **Distribución espacial:** Determina la distancia de colocación entre ductos.
5. **Condiciones de cielo:** se considera cielo despejado y cielo nublado.
6. **Orientación:** Se recomienda la utilización de los ductos con orientación sur.
7. **Cubierta y Difusor del ducto:** Se da un coeficiente de transmitancia para la cubierta de acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 que multiplicados dan una transmitancia del 72%.<sup>25</sup>

Las alternativas de diseño se aplicaron en base a una matriz de nueve variables combinadas entre si, de forma numérica e identificadas por una clave, que permitieron conocer las múltiples combinaciones así como el número de pruebas que se realizaron en el monitoreo del modelo tridimensional.

Las claves se clasifican en:

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| 1 Cielo Despejado.        | 6 Altura ext. 90 cm. |
| 2 Cielo Nublado.          | 7 Distancia 3 m.     |
| 3 Reflectancia Blanca.    | 8 Diámetro 45cm.     |
| 4 Reflectancia especular. | 9 Diámetro a 60 cm.  |
| 5 Altura ext. 60.         |                      |

---

<sup>23</sup> Material de reflectancia especular, se utilizo película de 3MM con una reflectancia del 98%.

<sup>24</sup> El techo está pintado de color palta esto produce un fenómeno físico por el color de alta reflectancia, reproduciendo en múltiples inter reflecciones dando un incremento a la luz del sol.

<sup>25</sup> Se aplica en las tablas de transmitancia real de la incidencia solar por ductos.

En base a la numeración de las claves se determinó la siguiente tabla (**Tabla 21**).

1 -3	1 -4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9
1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado	1 Cielo Despejado
3 Reflectancia Blanca	4 Reflectancia especular	5 Altura ext. 60	6 Altura ext. 90	7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9
2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado	2 Cielo Nublado
3 Reflectancia Blanca	4 Reflectancia especular	5 Altura ext. 60	6 Altura ext. 90	7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

3-5	3-6	3-7	3-8	3-9
3 Reflectancia Blanca	3 Reflectancia Blanca	3 Reflectancia Blanca	3 Reflectancia Blanca	3 Reflectancia Blanca
5 Altura ext. 60	6 Altura ext. 90	7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

4-5	4-6	4-7	4-8	4-9
4 Reflectancia especular	4 Reflectancia especular	4 Reflectancia especular	4 Reflectancia especular	4 Reflectancia especular
5 Altura ext. 60	6 Altura ext. 90	7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

5-7	5-8	5-9
5 Altura ext. 60	5 Altura ext. 60	5 Altura ext. 60
7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

6-7	6-8	6-9
6 Altura ext. 90	6 Altura ext. 90	6 Altura ext. 90
7 Distancia 3m	8 diámetro 45cm	9 diámetro a 60 cm

**Tabla 21** Alternativas de diseño en base a una matriz de relación matemática.

### 8.3. Fase 2. Describir los Pasos para la Realización en el Caso de Estudio.

El modelo físico tridimensional en esta etapa fue analizado previamente para comprobar su calibración de confort lumínico, contra el edificio real. Esto permite proponer con alto nivel de confiabilidad sistemas de alta eficiencia energética como son los ductos lumínicos para su comprobación lumínica y de eficiencia energética.

Se hacen modificaciones en el modelo tridimensional con base en las alternativas propuestas en los techos, como son el diámetro y la distribución espacial. Se realizan dos techos con las siguientes variables. (**Tabla 22**)

Variables de Diseño	Techo 1	Techo 2
<b>Diámetro</b>	45 cm	60cm
<b>Distribución espacial</b>	3 m	3 m
<b>Color del plafón al interior</b>	Gris claro	Gris claro
<b>Color del techo al exterior</b>	Plata	Plata

Tabla 22 Variables en los techos 1 y 2.

La distribución espacial<sup>26</sup> se determinó de acuerdo al flujo luminoso que emiten para lograr condiciones de uniformidad en el espacio analizado para que su relación de uniformidad resulte de acuerdo a los estándares internacionales respectivos tomando en cuenta el nivel de iluminancia que se requiere para este tipo de espacios. El nivel de iluminancia obtenido bajo un ducto lumínico se puede estimar aplicando la siguiente fórmula:

---

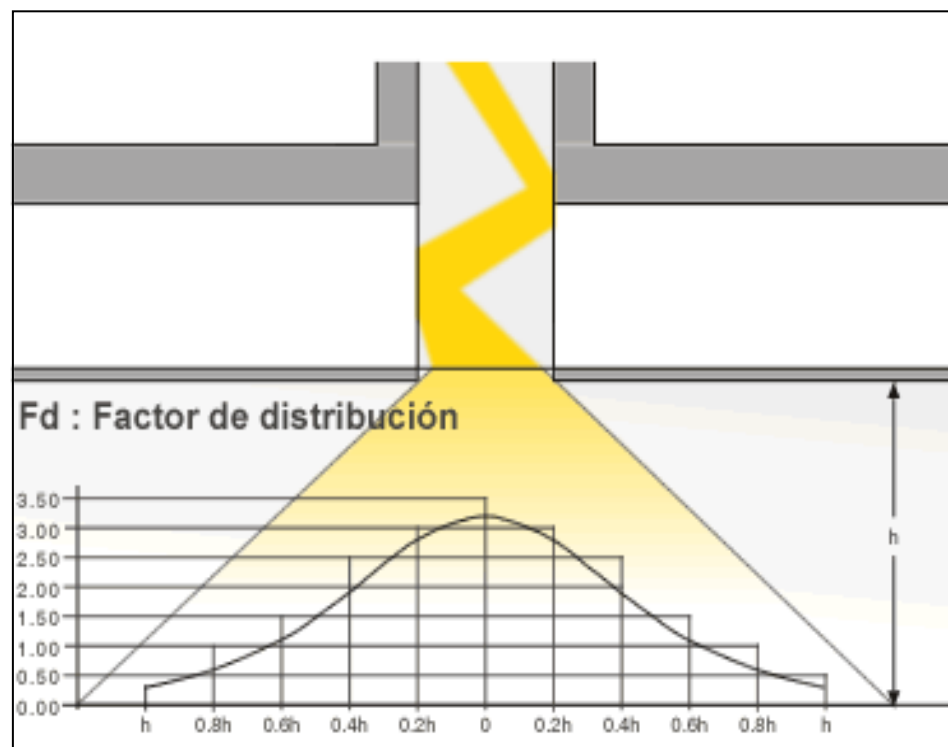
<sup>26</sup>Ver Anexo de Planos de distribución espacial a cada 3mts con los diámetros de 45 y 60 cm en plafón.

$$E = \frac{F \cdot F_d}{h^2} \quad (0.4) \quad \dots\dots\dots \text{(Fórmula 18)}$$

donde:

- E** = Iluminancia (nivel de iluminación Lux sobre una superficie horizontal).
- F** = Flujo luminoso emitido por el conducto (en Lúmen).
- F<sub>d</sub>** = Factor de distribución en un punto (obtenido de la tabla).
- h** = Distancia desde el difusor del techo al plano de medición (en metros).

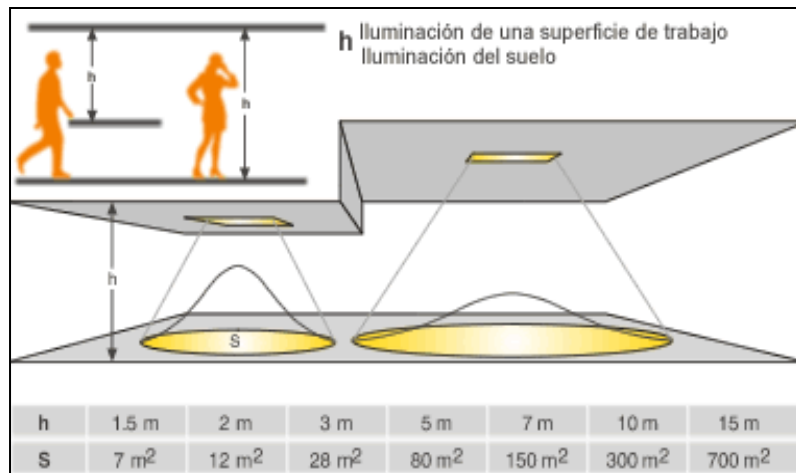
Utilizar  $F_d = 1$  para obtener un valor medio del nivel de iluminación.  $F_d$  se calcula de la gráfica para obtener estimaciones en diferentes puntos de la superficie iluminada (Fig. 196).



**Fig. 196** Gráfica para estimar los niveles de iluminación en las superficies con la utilización de ductos lumínicos

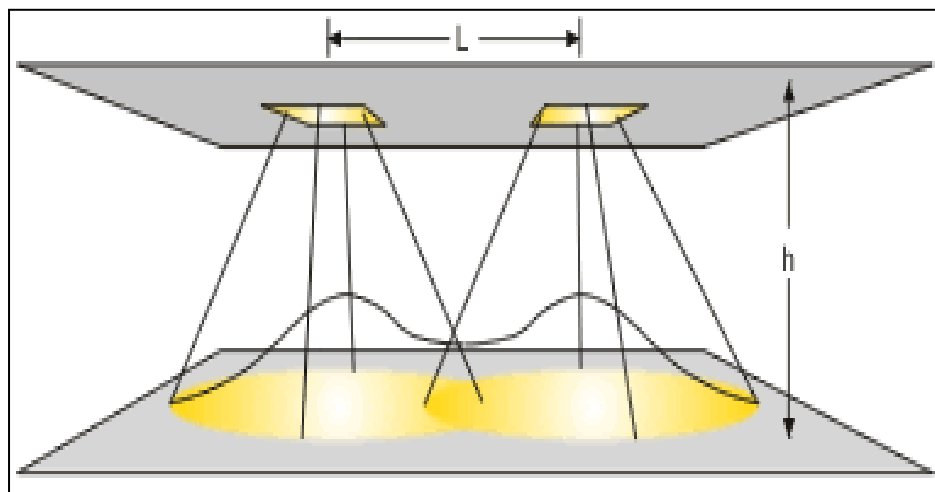
Es decir, máxima iluminación se obtiene directamente bajo el difusor siendo esta menor a medida que nos alejamos.

El área iluminada y el nivel de iluminación obtenido dependerán de la altura “h” a la que se sitúa la salida de luz sobre el plano a iluminar. Cuanto mayor sea “h”, mayor será la superficie iluminada, pero también menor su nivel de iluminación. (Fig.197)



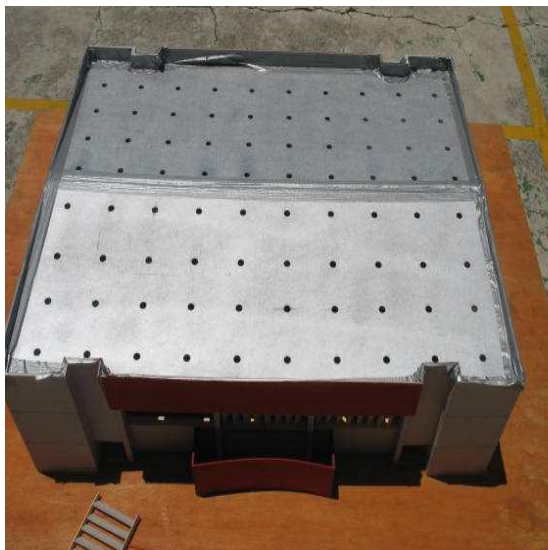
**Fig. 197** La relación de la iluminación de una superficie de trabajo con respecto al área del suelo .

La distribución (L) de la luz es homogénea si se aplica a cada 3 m, se obtendrá un mayor nivel de iluminación y a la vez más homogénea en cuanto menor sea la distancia entre conductos con respecto a la altura del edificio (Fig.198).

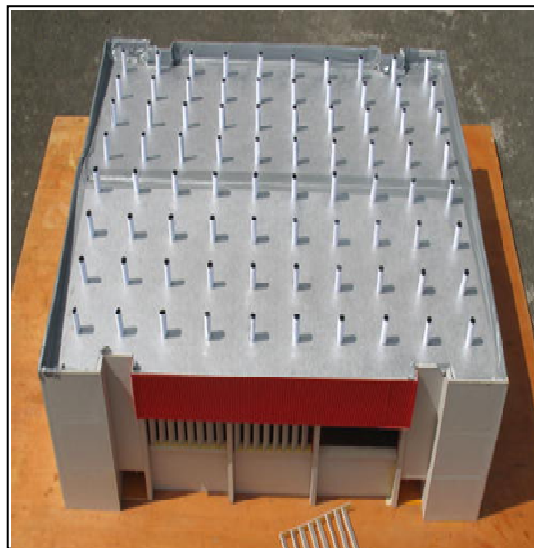


**Fig. 198** La relación de la iluminación de una superficie de trabajo con respecto al área del suelo

Se realiza el techo 1 y techo 2 para poder obtener los cambios de las variables de los ductos lumínicos (Figs. 199 y 200).



**Fig. 199** Techo de diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3m.



**Fig. 200** Techo de diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3m.

Clasificación de ductos lumínicos según su diámetro, el material al interior de reflectancia blanca o reflectancia especular, con la relación de la altura al exterior tomando en cuenta desde la base del techo de 90cm y 60cm. (Tabla 23).

Variables de Diseño de Ductos Lumínicos								
Material	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Especular	Especular	Especular	Especular
Diámetros	60 cm	60cm	45 cm	45cm	60 cm	60cm	45 cm	45cm
Altura al exterior	90cm	60cm	90cm	60cm	90cm	60cm	90cm	60cm
Total de ductos elaborados	80 piezas	80 piezas	80 piezas	80 piezas	80 piezas	80 piezas	80 piezas	80 piezas

**Tabla 23** Variables con diámetros y material al interior de los ductos .

Se elaboraron 640 ductos con las variables del diseño, en relación a los diámetros de 60cm y 45cm con las características a comprobar de los ductos lumínicos con reflectancia blancas y especulares al interior (Figs. 201 y 202).



**Fig. 201** Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior



**Fig. 202** Ductos lumínicos con diámetro de 45cm, vista interior

Los ductos lumínicos se realizaron escala 1:20, con relación al modelo tridimensional para tener objetividad en cuanto a la escala que se maneja, para el monitoreo del comportamiento lumínico en la aplicación de la condición 11 a la condición 32 para obtener la alternativa de diseño optima de iluminación (Figs. 203 y 204).



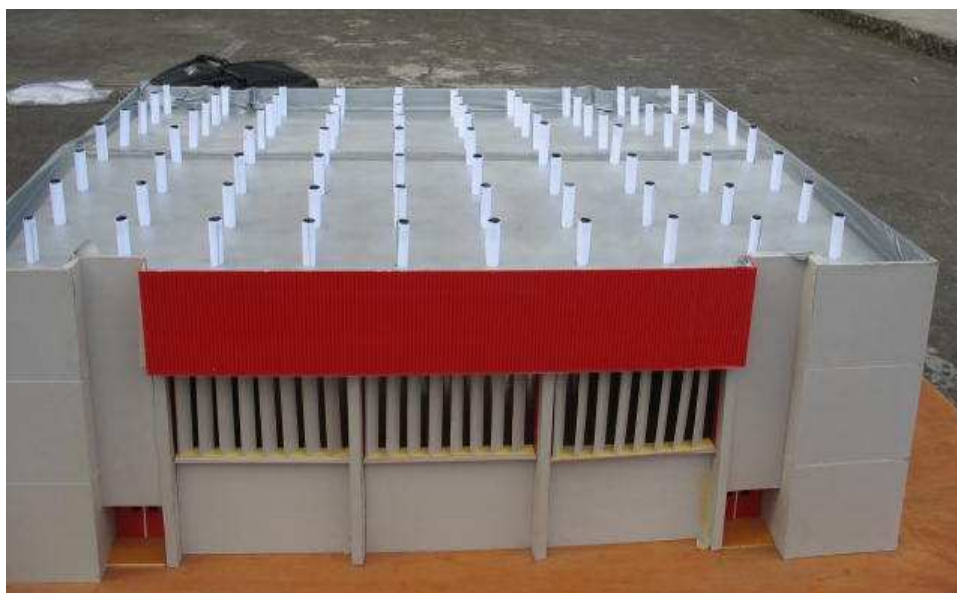
**Fig. 203** Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.



**Fig. 204** Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.



La distribución de las variables de diseño de los ductos lumínicos se colocarán en el modelo tridimensional con base en el material del interior del ducto blanco o espejador, propuestos en dos diámetros uno de 45cm y el otro de 60cm, con dos alturas diferentes en el exterior de los techos de 60 cm y de 90cm, con un espaciamiento de 3m. (Figs. 205, 206)



**Fig. 205** Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.



**Fig. 206** Ductos lumínicos con diámetro de 60cm vista interior.

#### 8.4. Fase 3. Evaluación Experimental de las Alternativas de Diseño.

Se determinó en la condición 11 a la 28, a partir de diferentes variables de diseño en la evaluación experimental determinada por las condiciones de cielo despejado y cielo nublado. Las condiciones 14, 17, 19 y 24 fueron utilizadas como mediciones de control de comparación.

Equipo de laboratorio, se utilizaron dos luxómetros para realizar las mediciones con rango de 0 a 200,000 lux (Figs. 207 y 208).

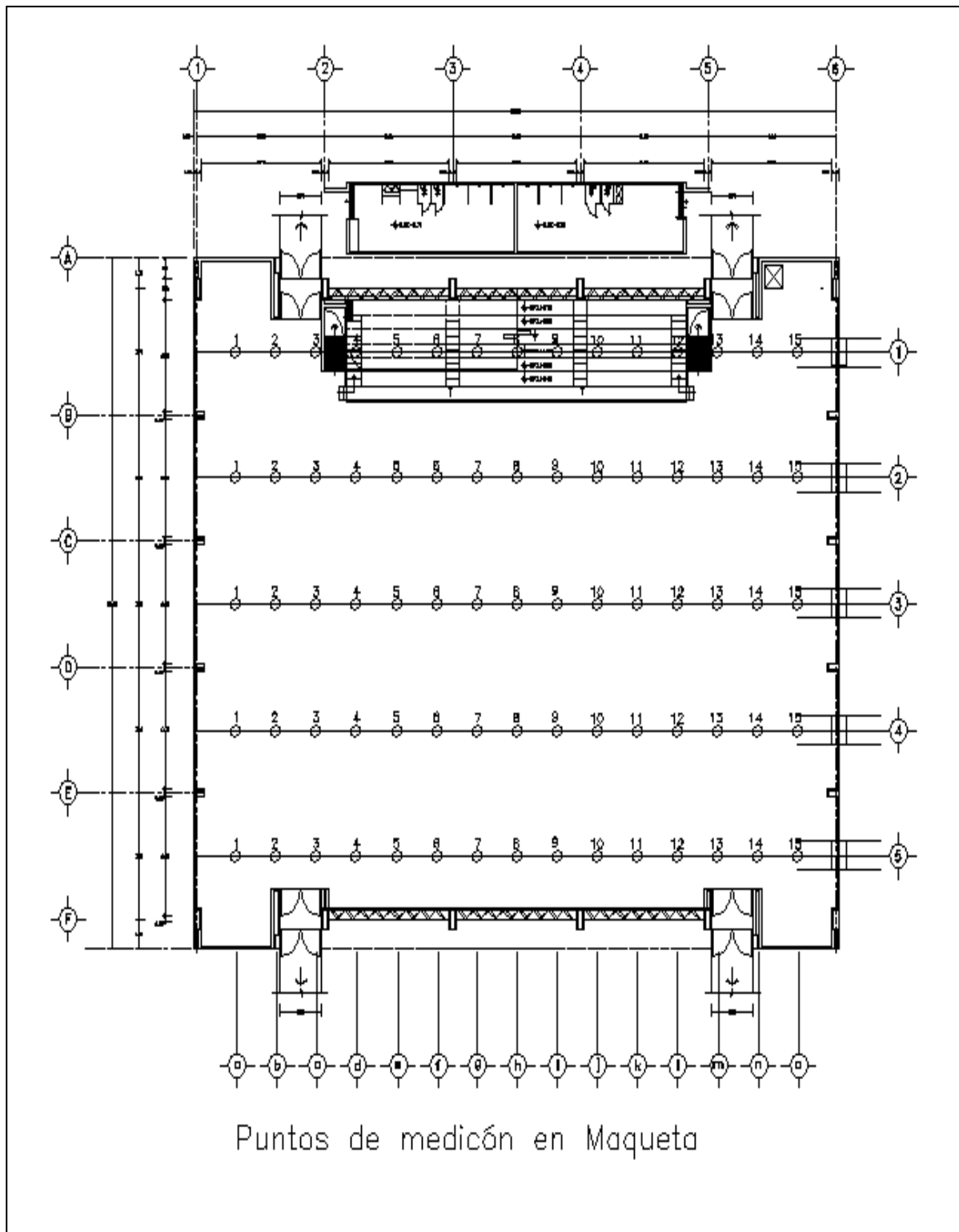


**Fig. 207** Luxómetro rango 0 a 200,000 lux. EXTECH light meter modelo 401025.



**Fig. 208** Luxómetro rango de 0 a 200,000 lux. AEMC modelo CA813.

La planta del modelo tridimensional se retículo 3x3 metros, se dispusieron 5 hileras para la toma de mediciones con cinco coordenadas verticales y catorce coordenadas horizontales, dando una matriz de 70 puntos medibles al interior (Fig. 209).



**Fig. 209.** Planta del modelo tridimensional con los puntos de medición.

## 8.5. Alternativas de Diseño propuestas para el Monitoreo del Modelo Tridimensional con Ductos Lumínicos.

Las alternativas diseño de los ductos lumínicos se clasificaron por sus variables de diseño, en dos condiciones lumínicas como son cielo despejado y cielo nublado, el material al interior del ducto lumínico propuesto fue de alta reflectancia y blanco, el largo de los ductos del techo al exterior para medir la captación solar con uno de 60 cm y otro de 90 cm, otro de los factores de diseño es el diámetro del ducto de 45 cm y de 90 cm propuestos en techos y el distanciamiento entre cada ducto se propuso de 3 m (Tabla 24).

Condición	Condición de Cielo	Reflectancia interior	Altura exterior en cm	Diámetro del ducto	Distribución espacial
Condición 11	Nublado	blanco	90	45	3 m
Condición 12	Nublado	especular	90	45	3 m
Condición 13	NUBLADO	sin ducto cubierta			
Condición 14	despejado	blanco	90	45	3 m
Condición 15	despejado	especular	90	45	3 m
Condición 16	DESPEJADO	sin ducto cubierta			
Condición 17	Nublado	blanco	60	45	3 m
Condición 18	nublado	especular	60	45	3 m
Condición 19	NUBLADO	sin ducto cubierta			
Condición 20	despejado	blanco	60	45	3m
Condición 21	despejado	especular	60	45	3m
Condición 22	Nublado	blanco	60	60	3m
Condición 23	Nublado	especular	60	60	3m
Condición 24	despejado	blanco	60	60	3m
Condición 25	despejado	especular	60	60	3m
Condición 26	Nublado	blanco	90	60	3m
Condición 27	Nublado	especular	90	60	3m
Condición 28	despejado	blanco	90	60	3m
Condición 29	despejado	especular	90	60	3m

Tabla 24. De la condición 11 a la condición 29.

Se presenta el monitoreo de las condiciones lumínicas, con las alternativas de los ductos lumínicos, realizadas al modelo tridimensional de la Condición 11 a la condición 29 con los siguientes elementos:

1. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con alternativas de ductos lumínicos, con grafica del comportamiento lumínico, en cielo despejado y cielo nublado.
2. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con alternativas de ductos lumínico, aplicando el coeficiente de trasmittancia con grafica del comportamiento lumínico.
3. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con alternativa de ducto lumínico, aplicando el factor de día, con grafica de Isolux.
4. Se marco una línea amarilla como referencia, para determinar el “nivel requerido de iluminación” al interior del gimnasio, por los estándares Internacionales.

Con estos elementos se realizo el monitoreo del modelo tridimensional, con las alternativas de diseño de los ductos lumínicos, a partir de las combinaciones de las variables de diseño propuestas en de condición 11 a la condición 29.

### **8.5.1. Monitoreo del Modelo Tridimensional con Ductos Lumínicos. Tablas y Gráficas.**

- 8.5.1.1** Condición 11: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.1.2.** Condición 11, Transmitancia de los Materiales Condición 11: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.1.3.** Condición 11: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.2.1.** Condición 12: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.2.2.** Condición 12: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.2.3.** Condición 12: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.3.1.** Condición 13: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo despejado con techos cubiertos.

- 8.5.4.1.** Condición 14: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.4.2.** Condición 14: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.4.3.** Condición 14: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.5.1.** Condición 15: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.5.2.** Condición 15: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.5.3.** Condición 15: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.6.1.** Condición 16: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo despejado con techos cubiertos.
- 8.5.7.1.** Condición 17: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.

- 8.5.7.2.** Condición 17: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.7.3.** Condición 17: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.8.1.** Condición 18: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.8.2.** Condición 19: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo nublado con techos cubiertos.
- 8.5.8.3.** Condición 18: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.9.1 .** Condición 19: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo nublado con techos cubiertos.
- 8.5.10.1** Condición 20: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.10.2.** Condición 20: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



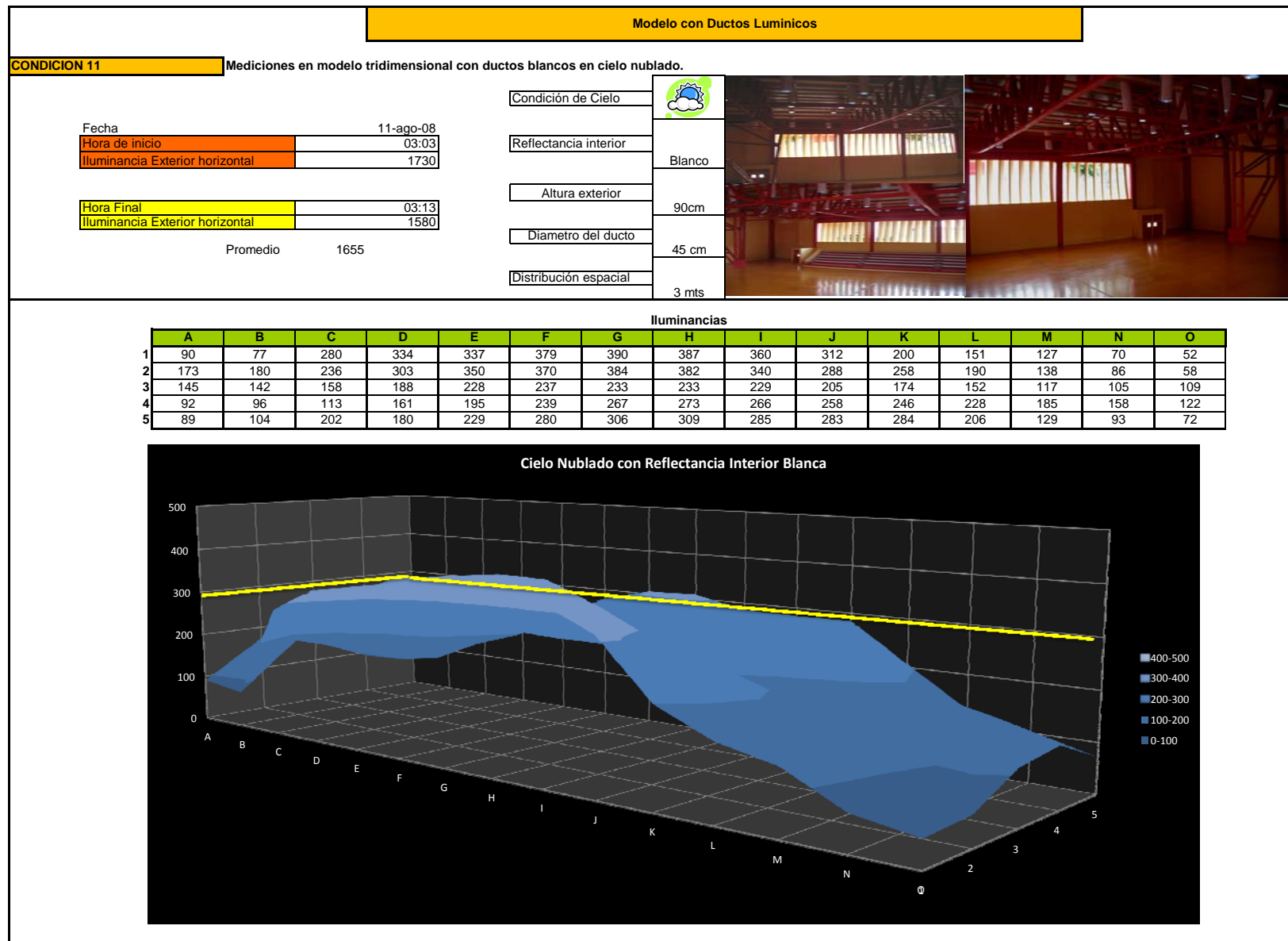
- 8.5.10.3.** Condición 20: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.11.1.** Condición 21: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.11.2.** Condición 21: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.11.3.** Condición 21: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.12.1.** Condición 22: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.12.2.** Condición 22: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.12.3.** Condición 22: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

- 8.5.13.1.** Condición 23: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, espeular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.13.2.** Condición 23: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior espeular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.13.3.** 236 Condición 23: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior espeular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.14.1.** Condición 24: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.14.2.** Condición 24: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.14.3.** Condición 24: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.15.1.** Condición 25: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior espeular, con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3m
- 8.5.15.2.** Condición 25: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior espeular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con

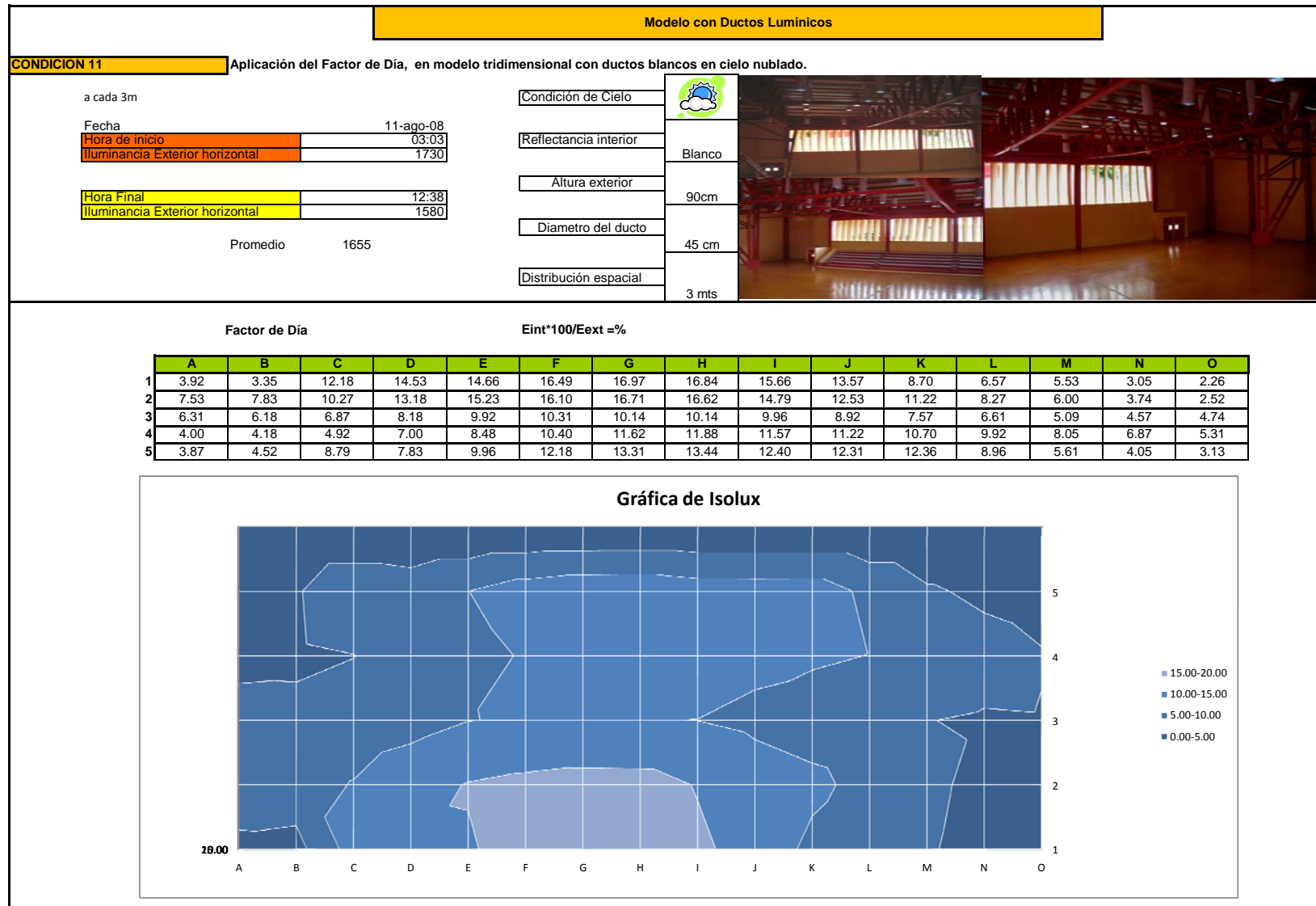
distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.

- 8.5.15.3.** Condición 25: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.16.1.** Condición 26: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m
- 8.5.16.2.** Condición 26: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.16.3.** Condición 26: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.17.1.** Condición 27: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.17.2.** Condición 27: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.17.3.** Condición 27: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior espeuclar, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

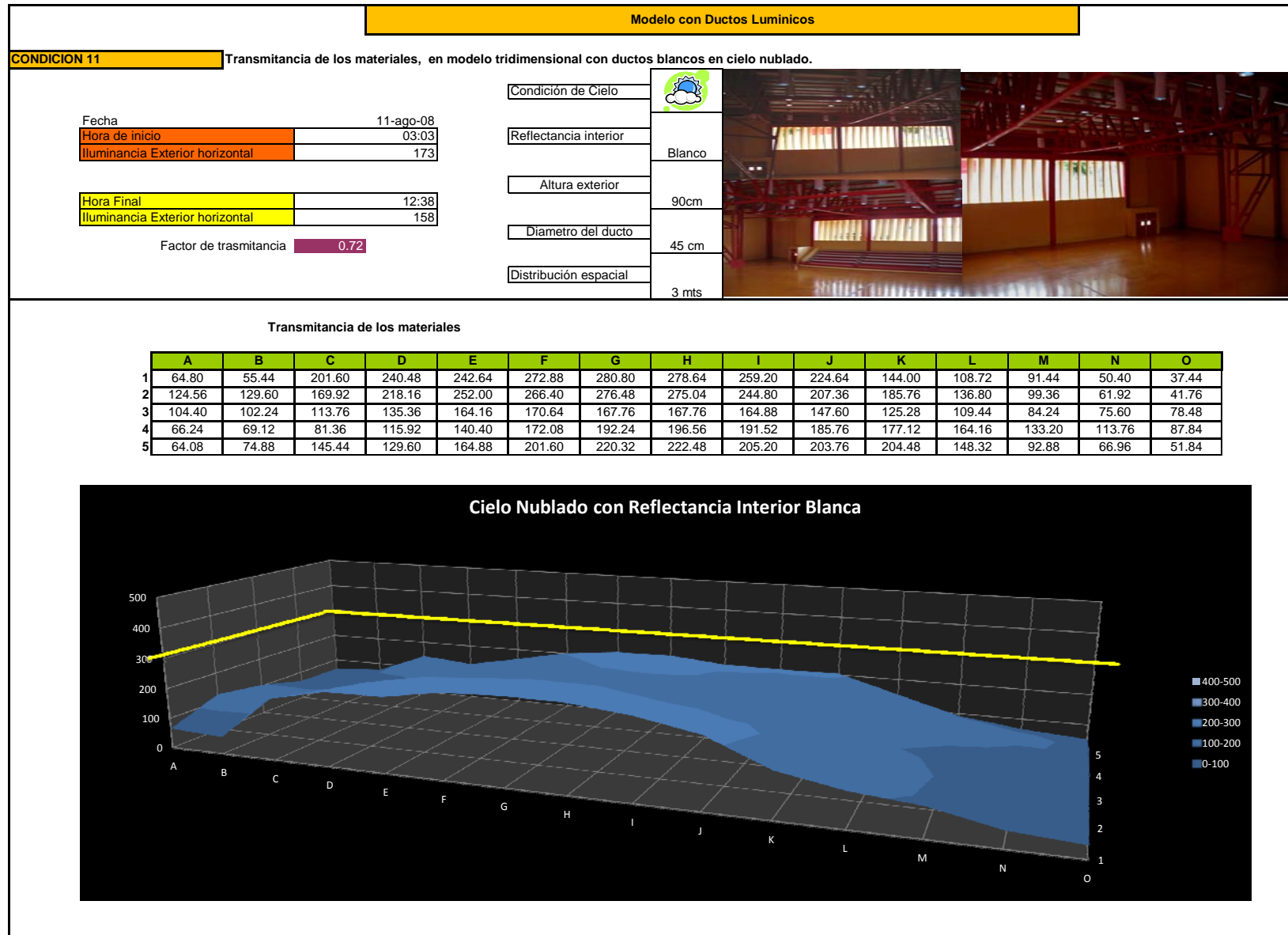
- 8.5.18.1.** Condición 28: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 60 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.5.18.2.** Condición 28: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.18.3.** Condición 28: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.5.19.1.** Condición 29: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 60 cm, con una distribución espacial de 3 m
- 8.5.19.2.** Condición 29: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.5.19.3.** Condición 29: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 60 cm, con una distribución espacial de 3 m.



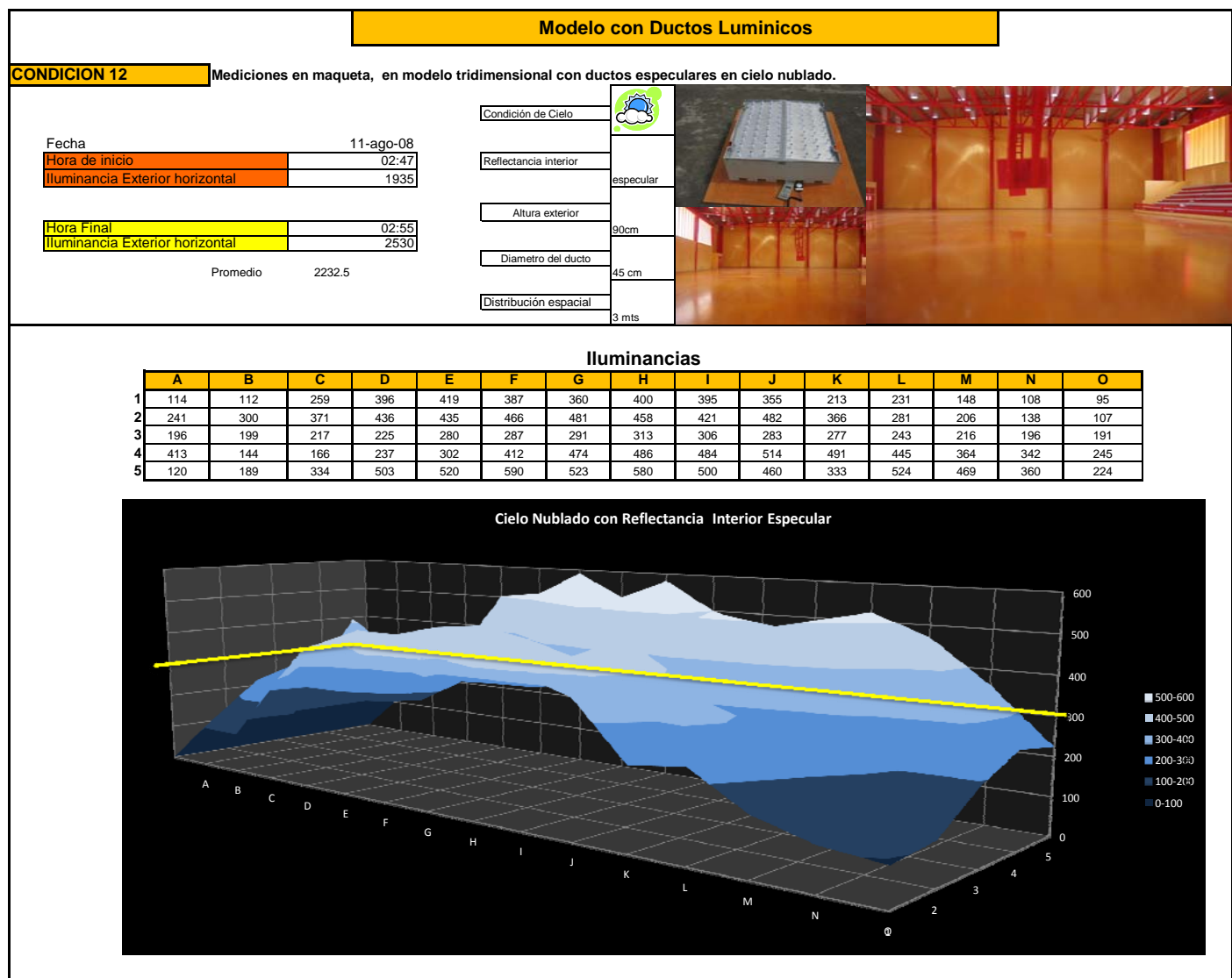
**Fig. 204** Condición 11: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3 m



**Fig. 205** Condición 11: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m aplicando el coeficiente de trasmisancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto

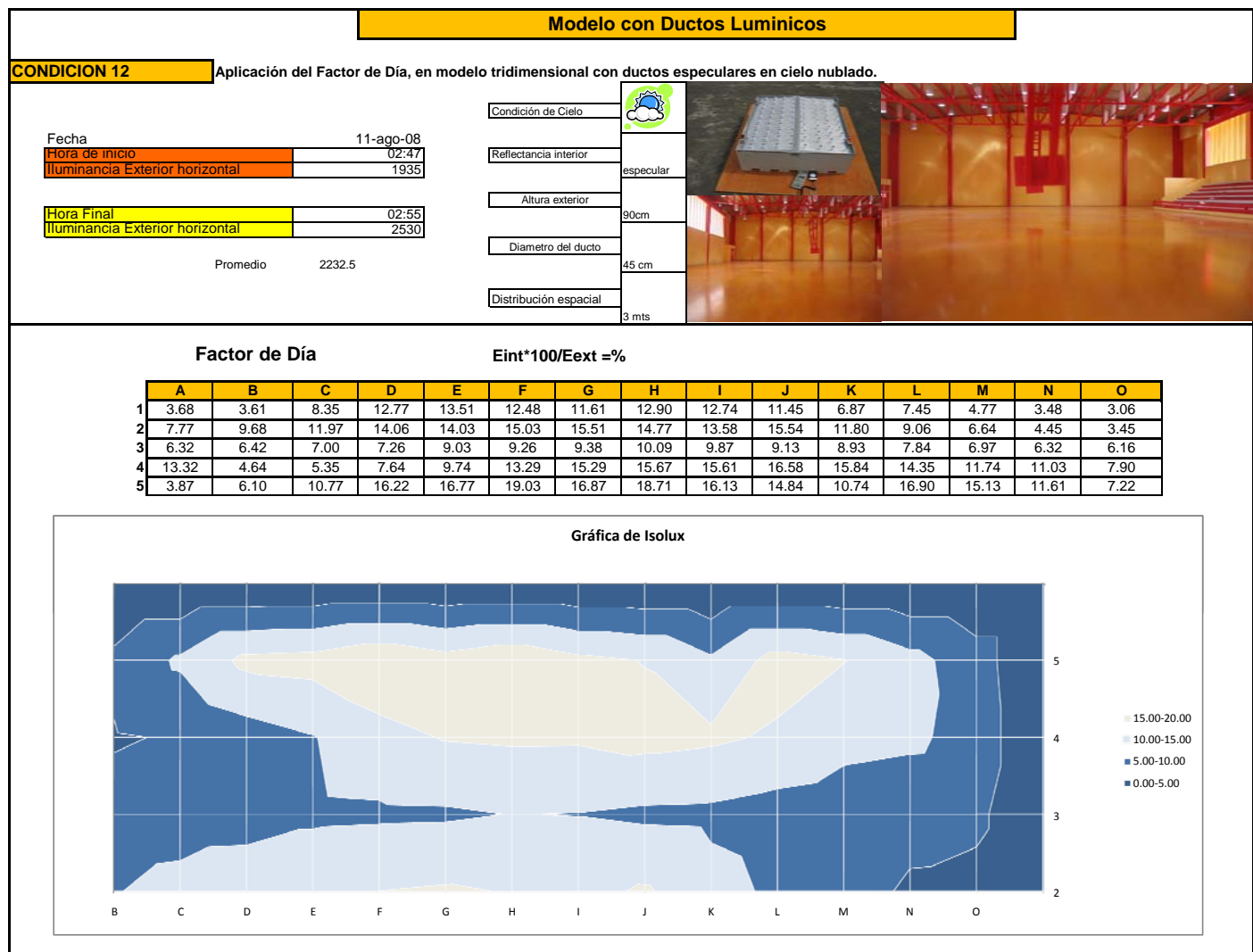


**Fig.206** Condición 11: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m con Factor de Día

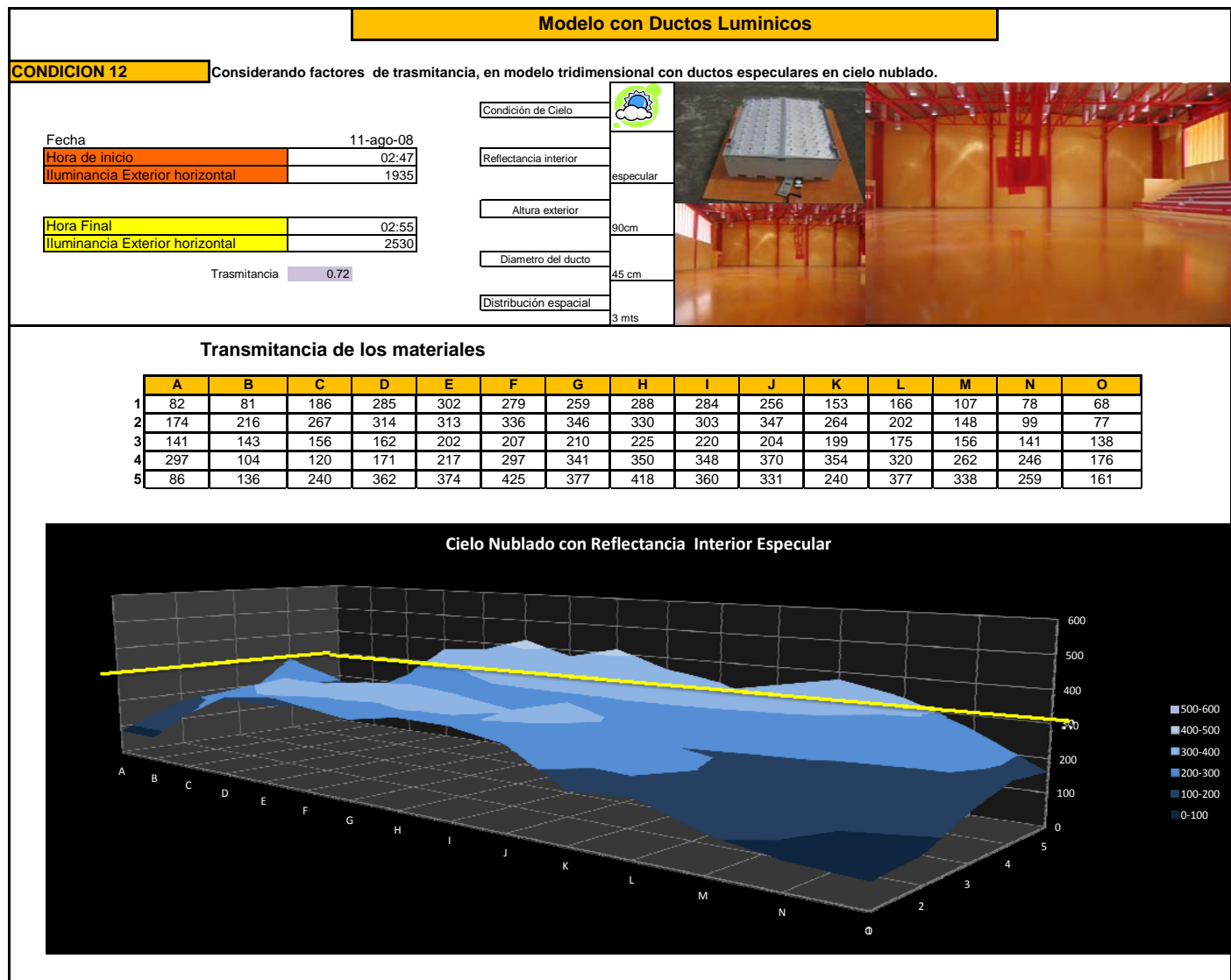


**Fig. 207** Condición 12: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3m

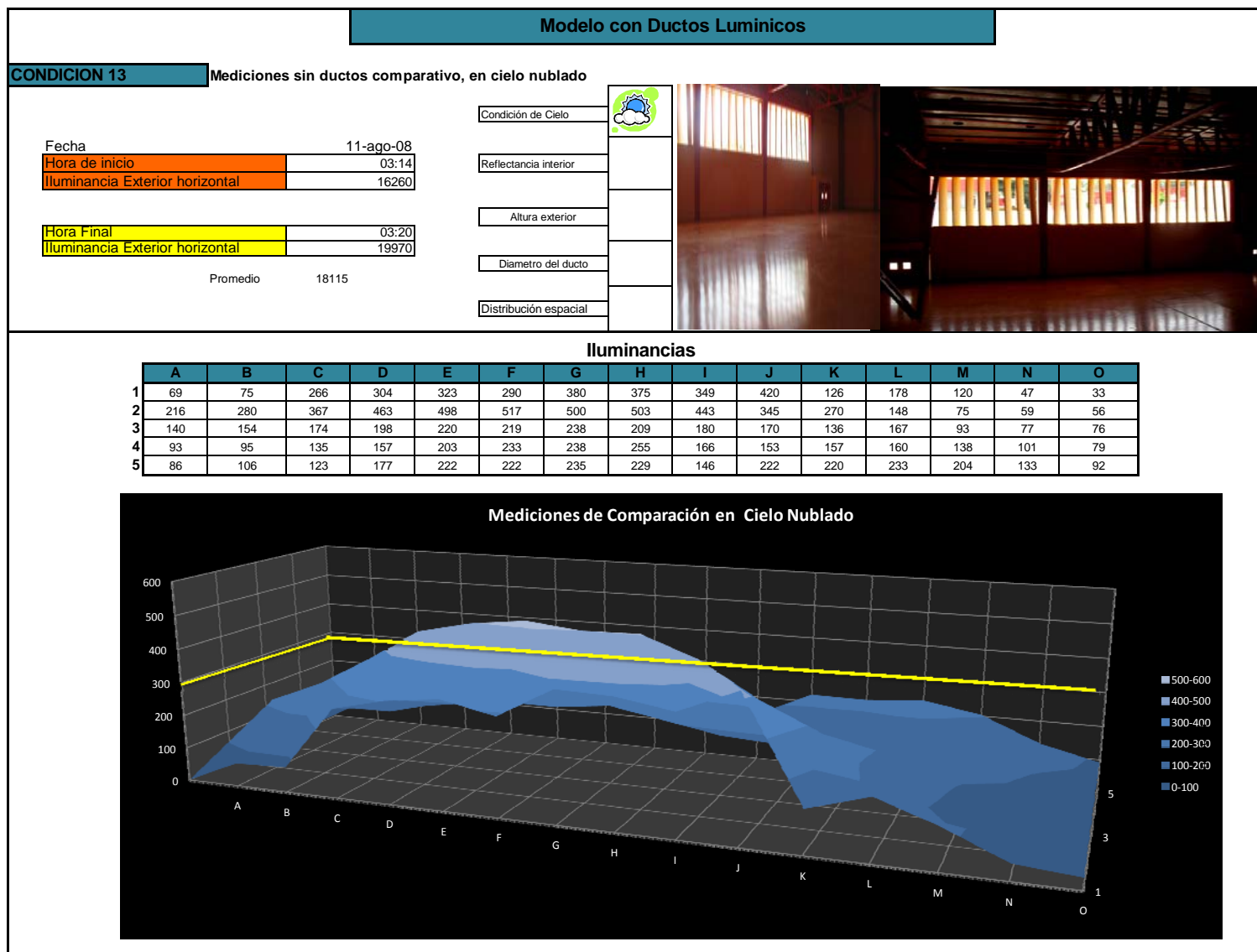




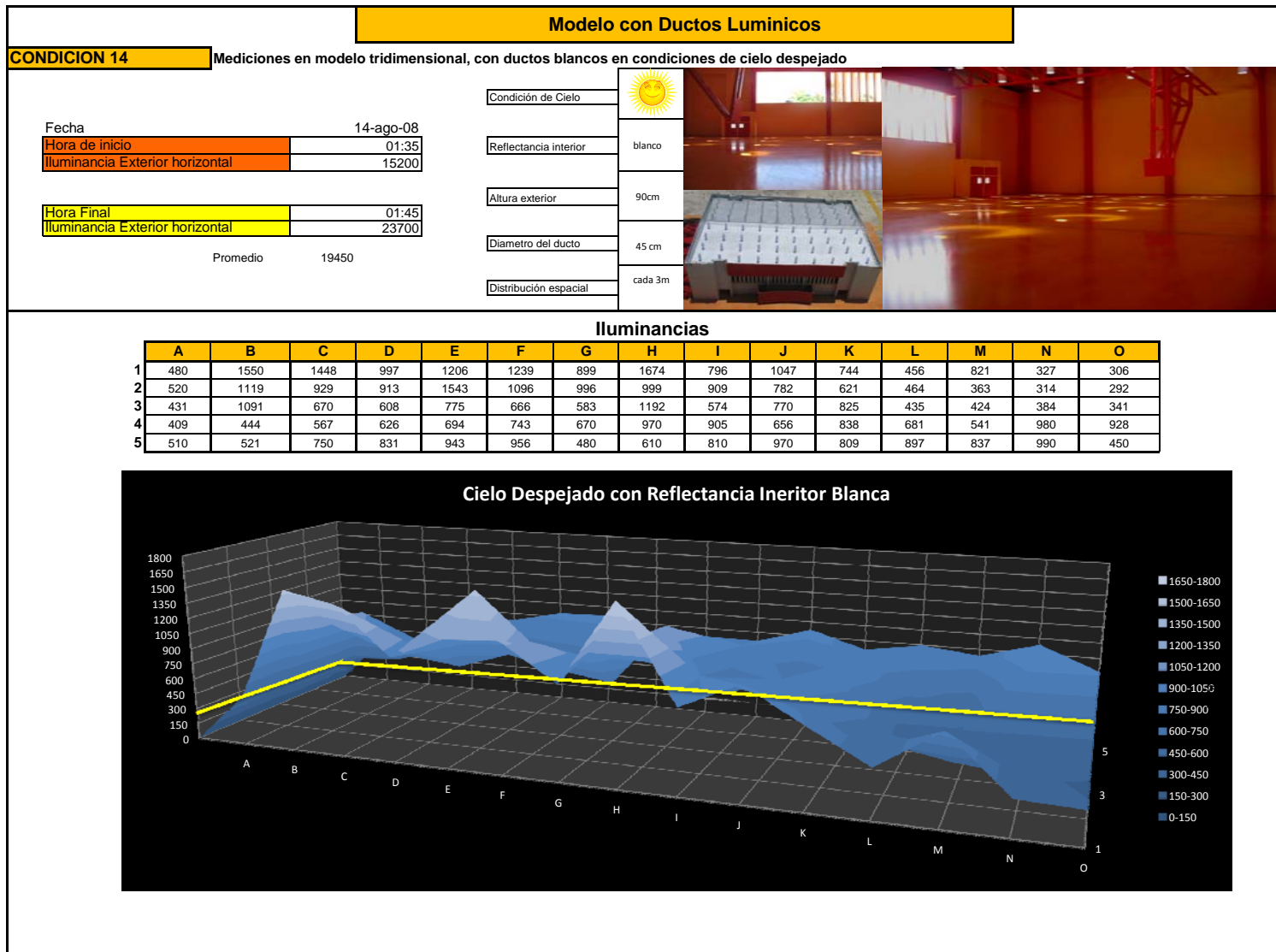
**Fig. 208** Condición 12: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmisancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto



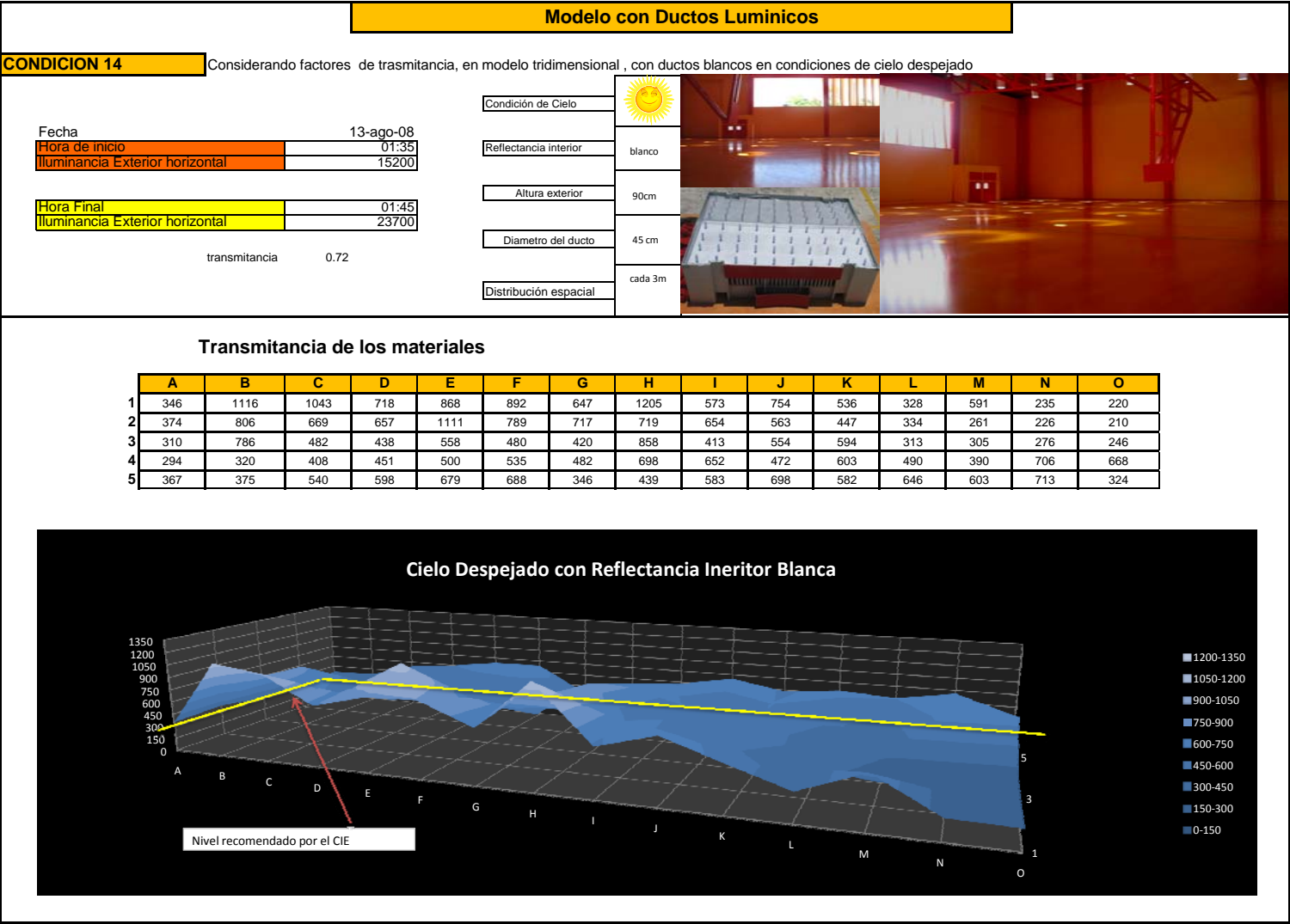
**Fig. 209** Condición 12: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

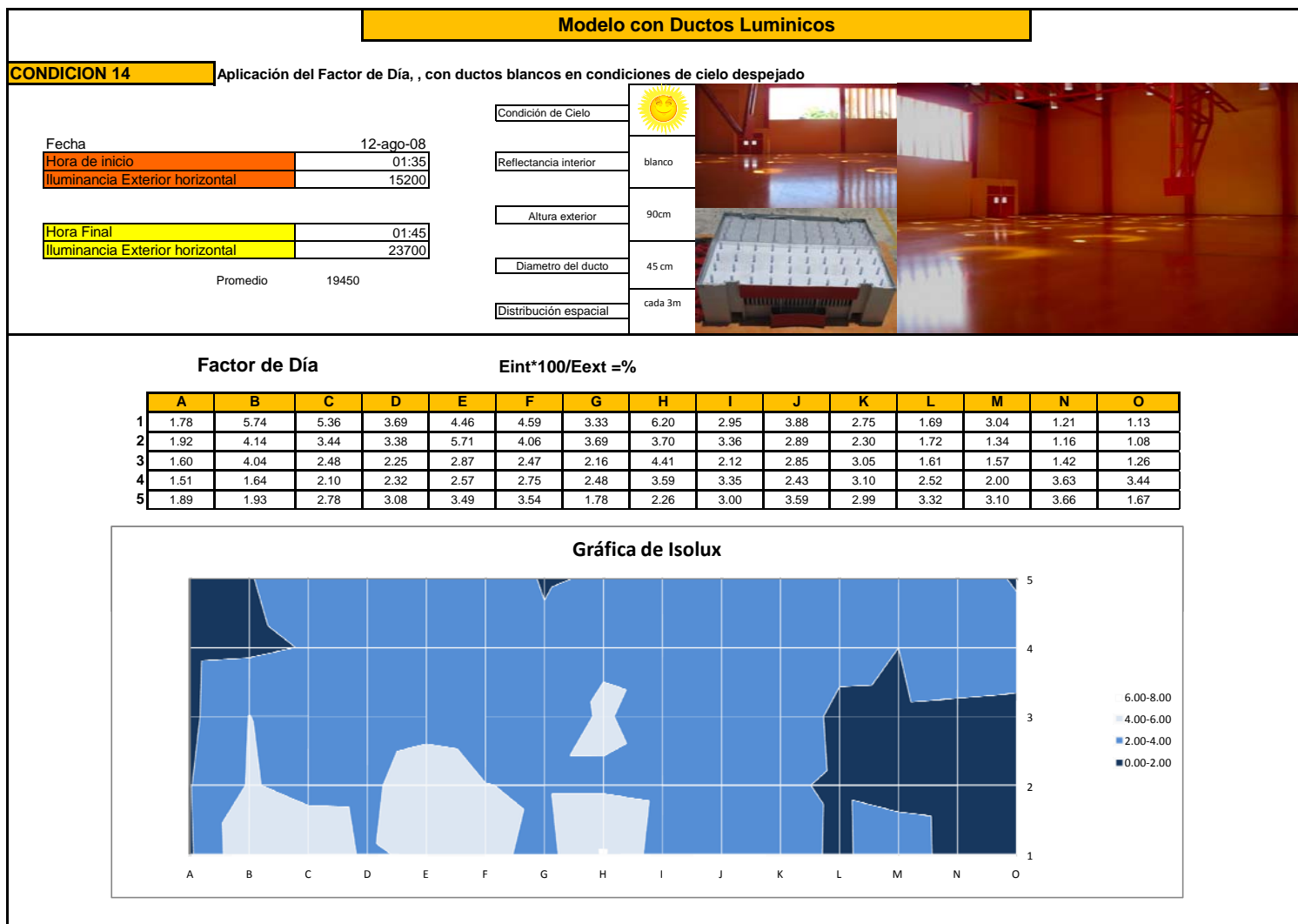


**Fig. 210** Condición 13: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo despejado con techos cubiertos.



**Fig. 211** Condición 14: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3 m.





**Fig. 213** Condición 14: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

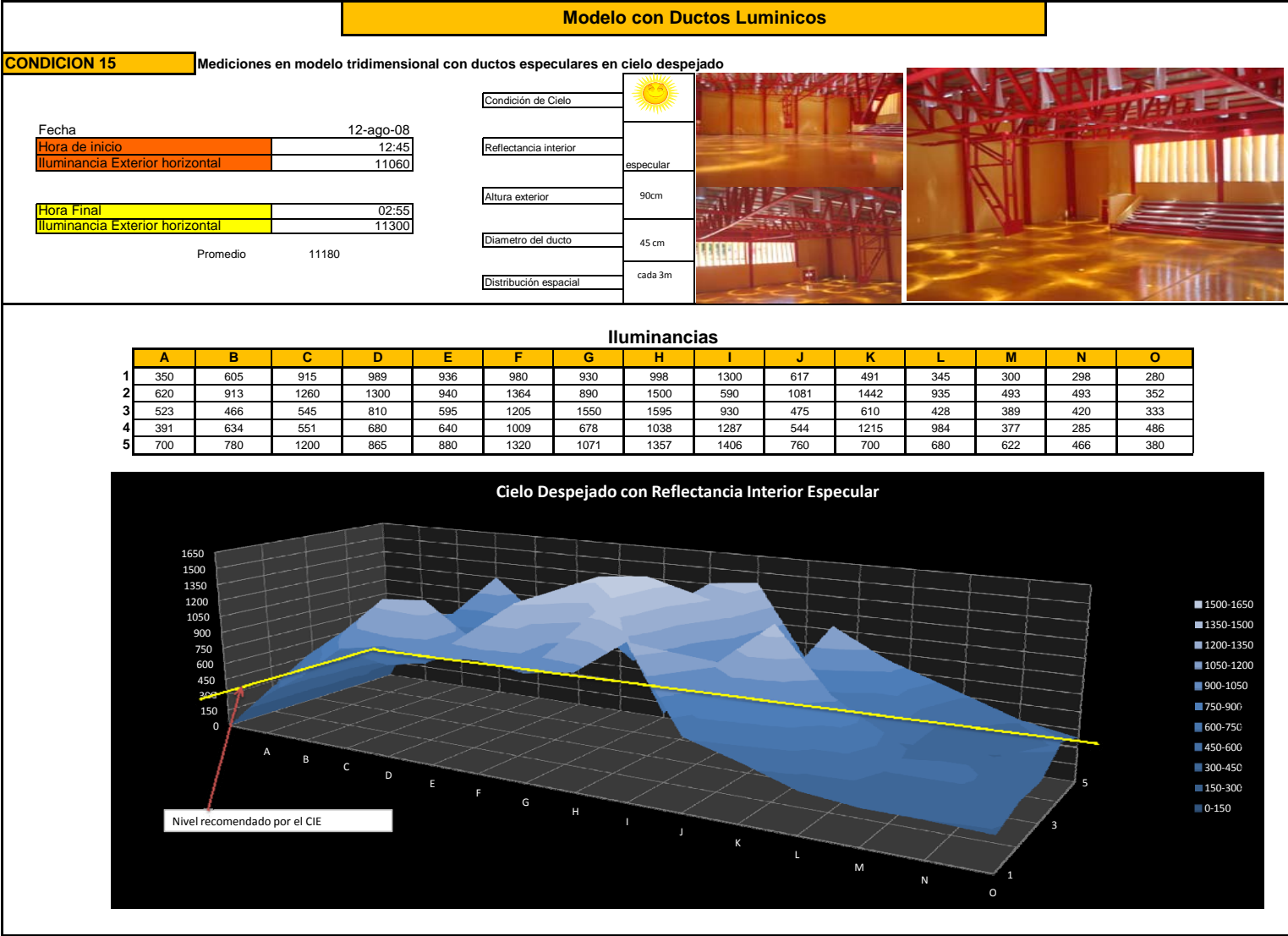
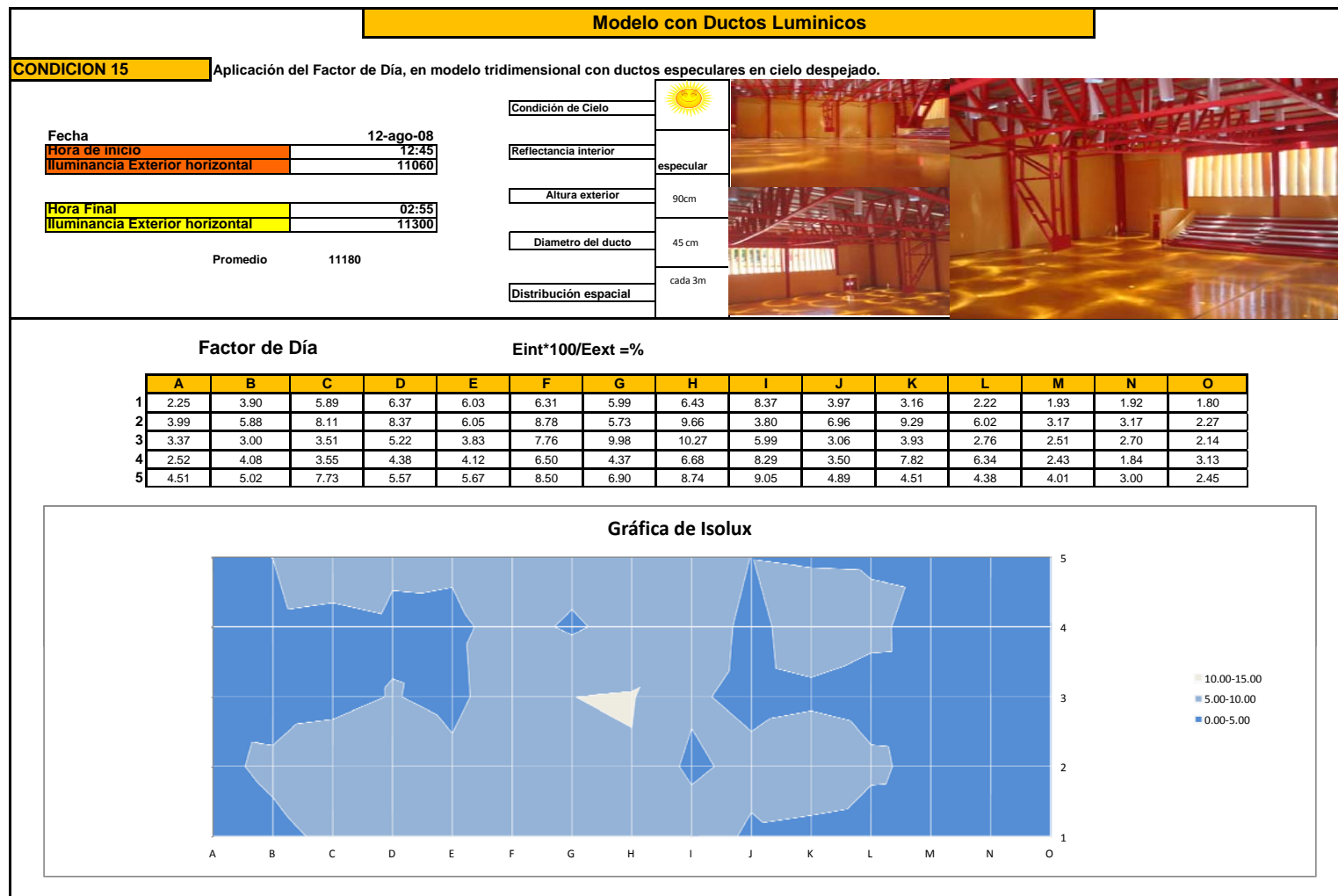
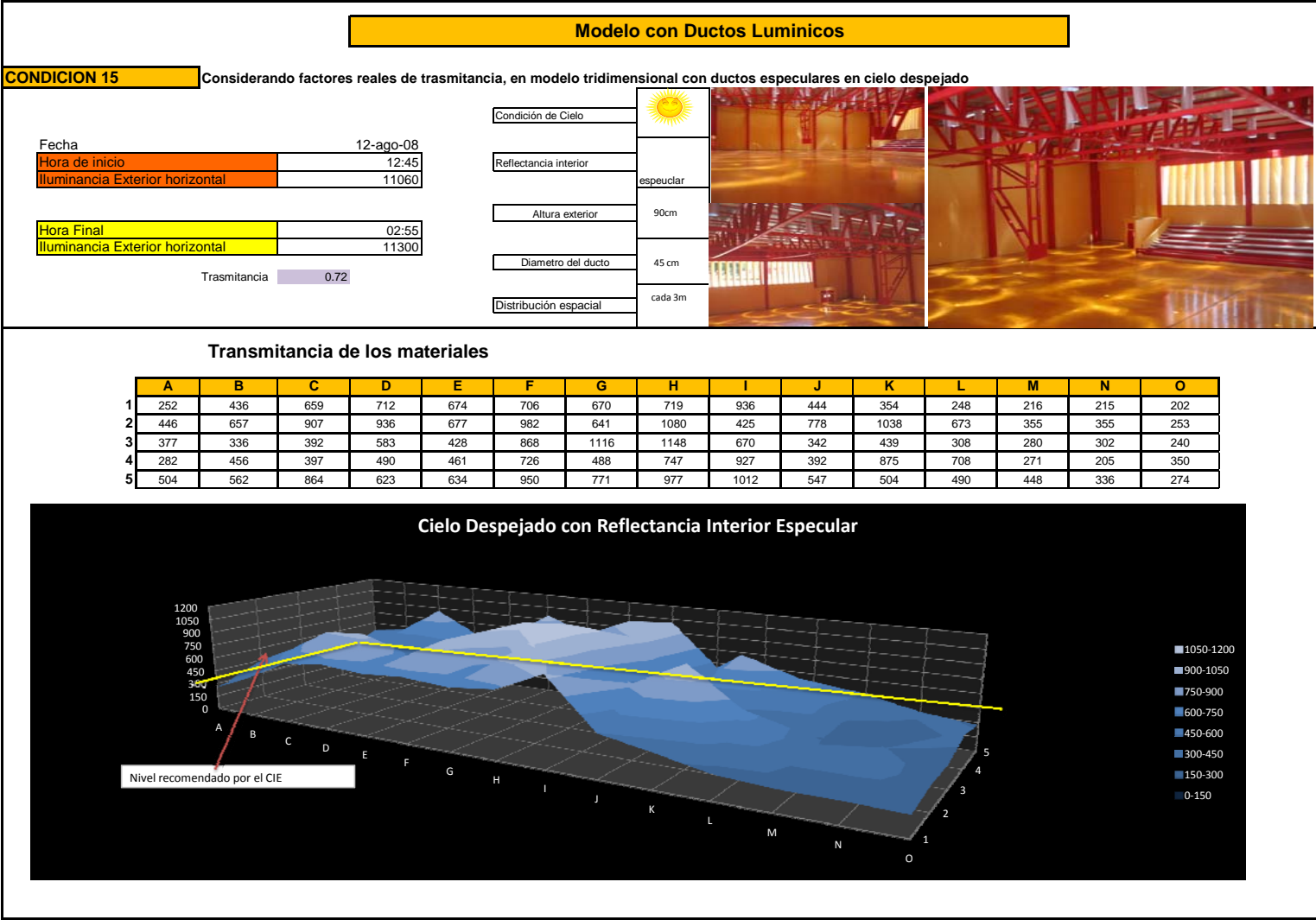


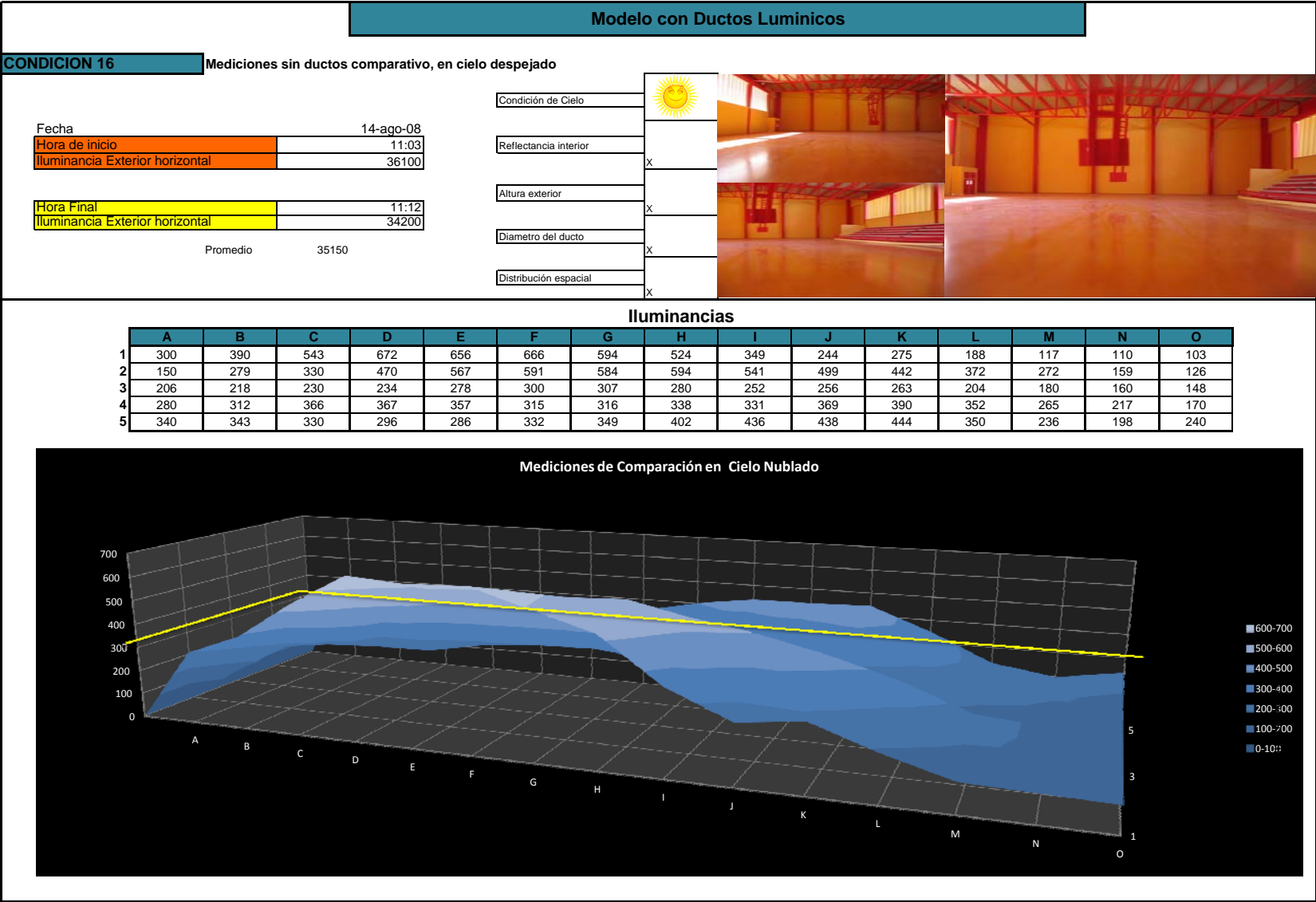
Fig. 214 Condición 15: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3m.

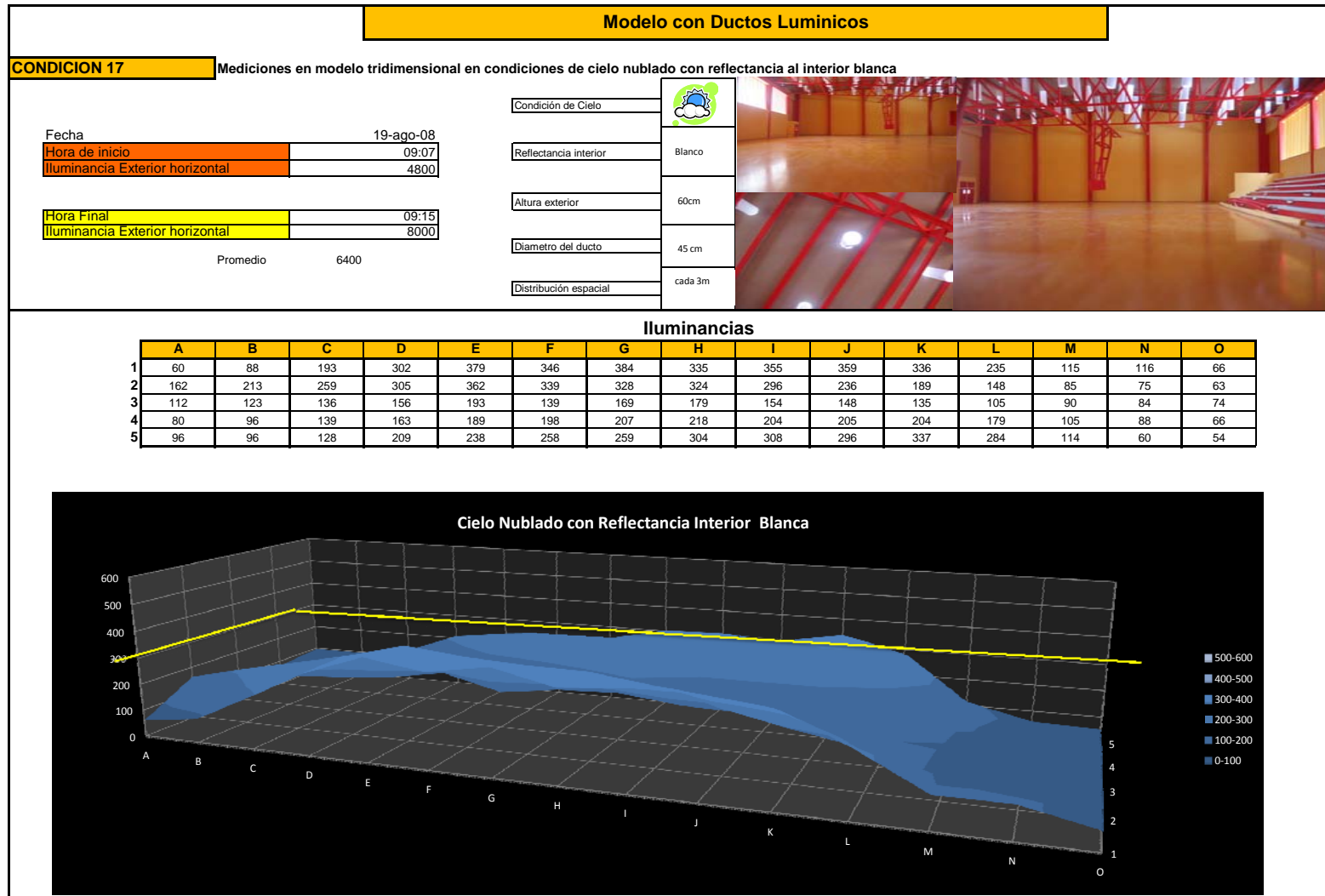


**Fig. 216** Condición 15: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

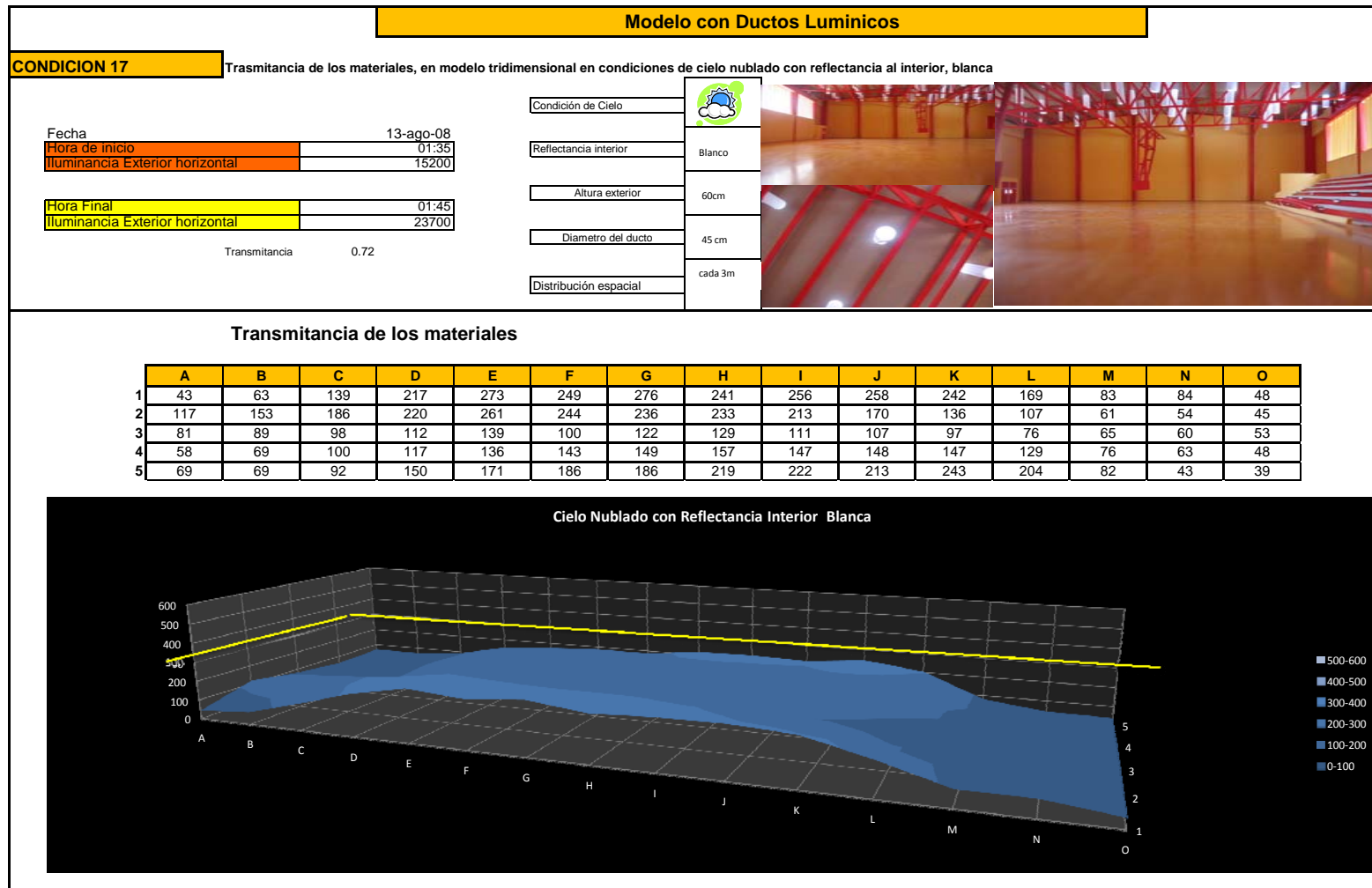




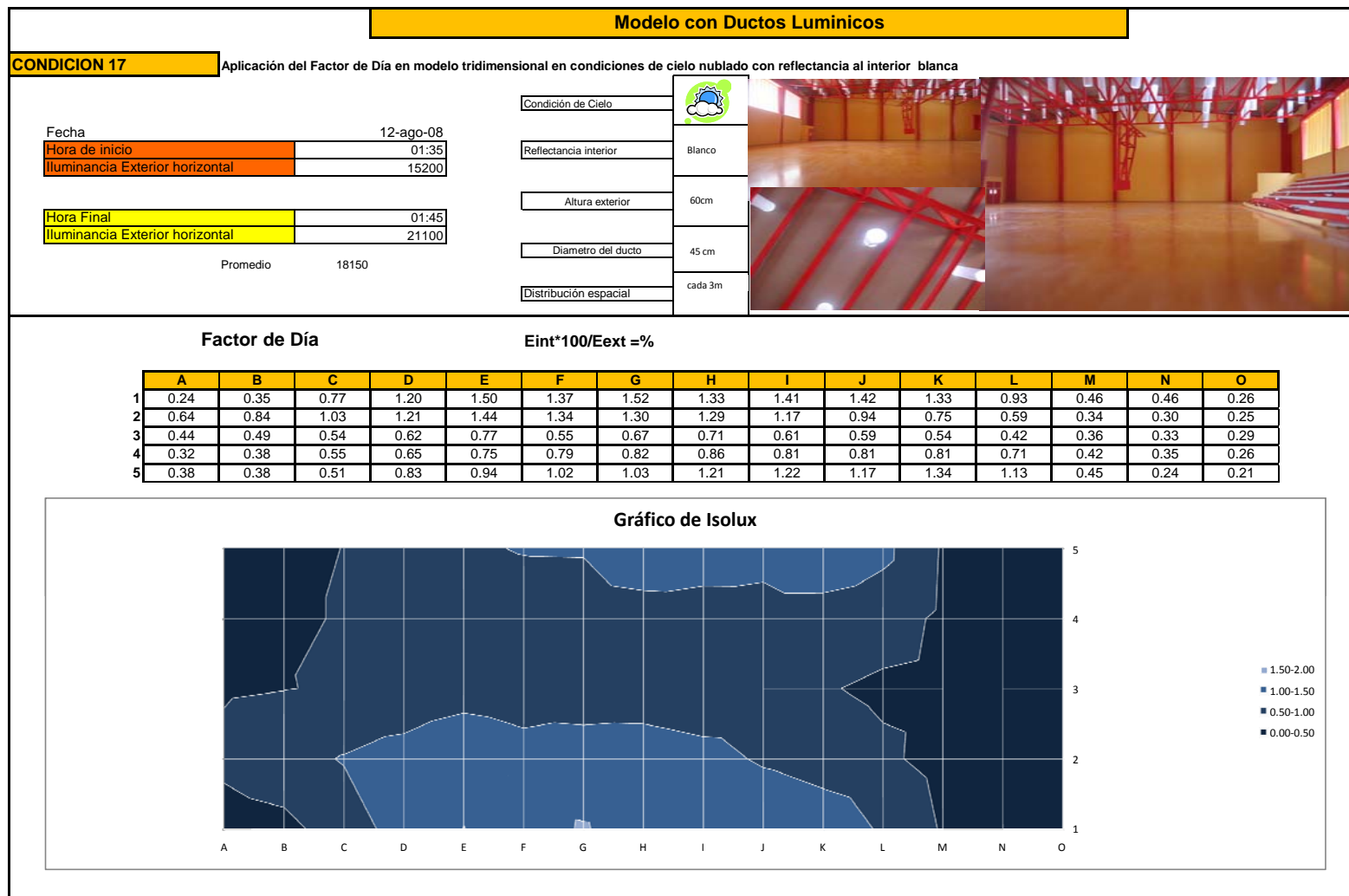




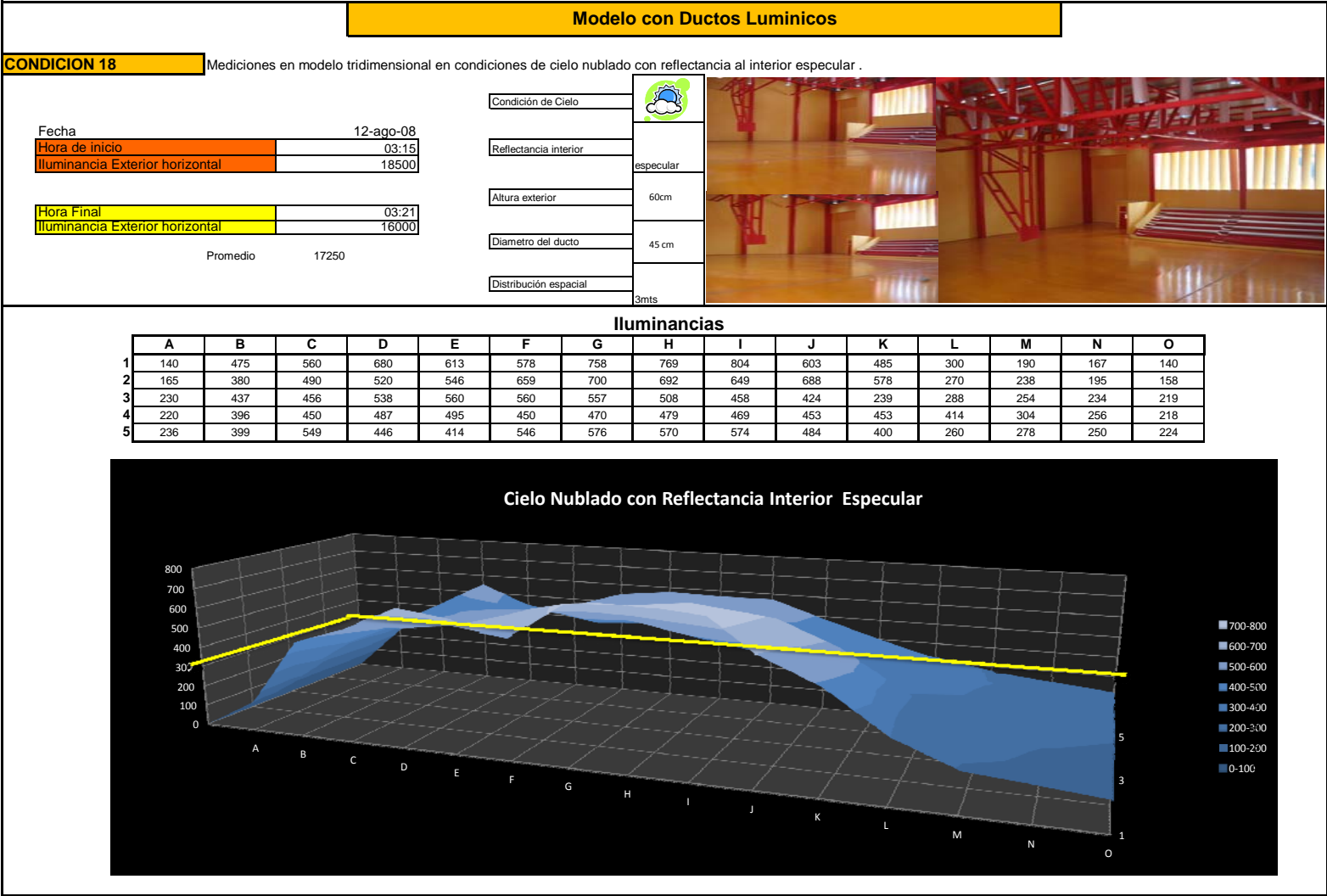
**Fig. 218** Condición 17: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45cm , con una distribución espacial de 3m.



**Fig. 219** Condición 17: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45cm, con distribución espacial de 3m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 220** Condición 17: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.



## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 18

Trasmitancia delos materiales, en modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular

Fecha 13-ago-08  
 Hora de inicio 03:15  
 Iluminancia Exterior horizontal 18500  
 Hora Final 03:21  
 Iluminancia Exterior horizontal 16000

Trasmitancia 0.72

Condición de Cielo



Reflectancia interior

especular

Altura exterior

60cm

Diametro del ducto

45 cm

Distribución espacial

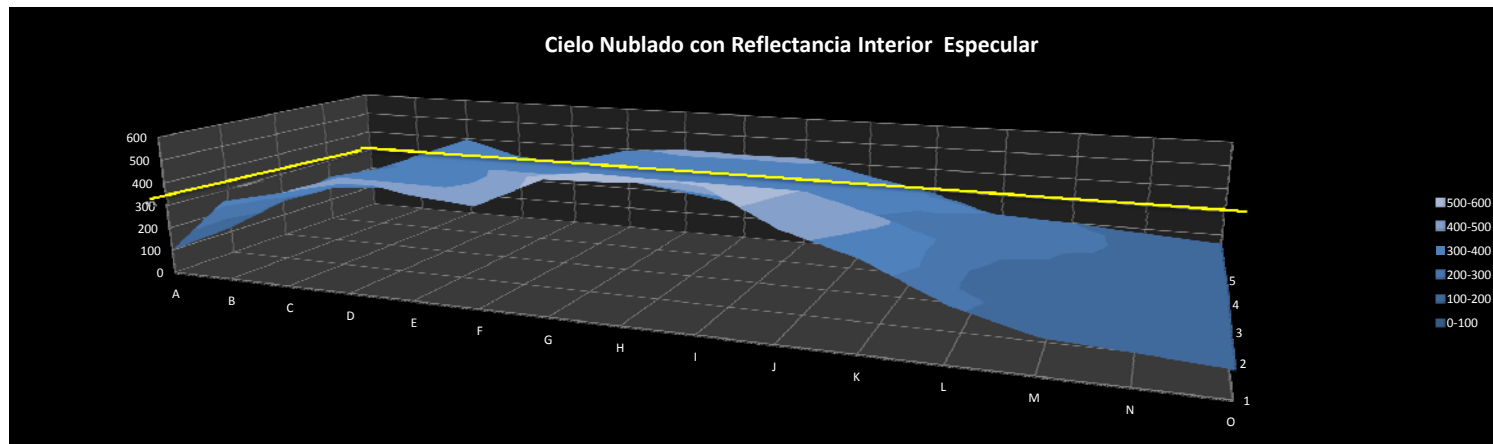
cada 3m



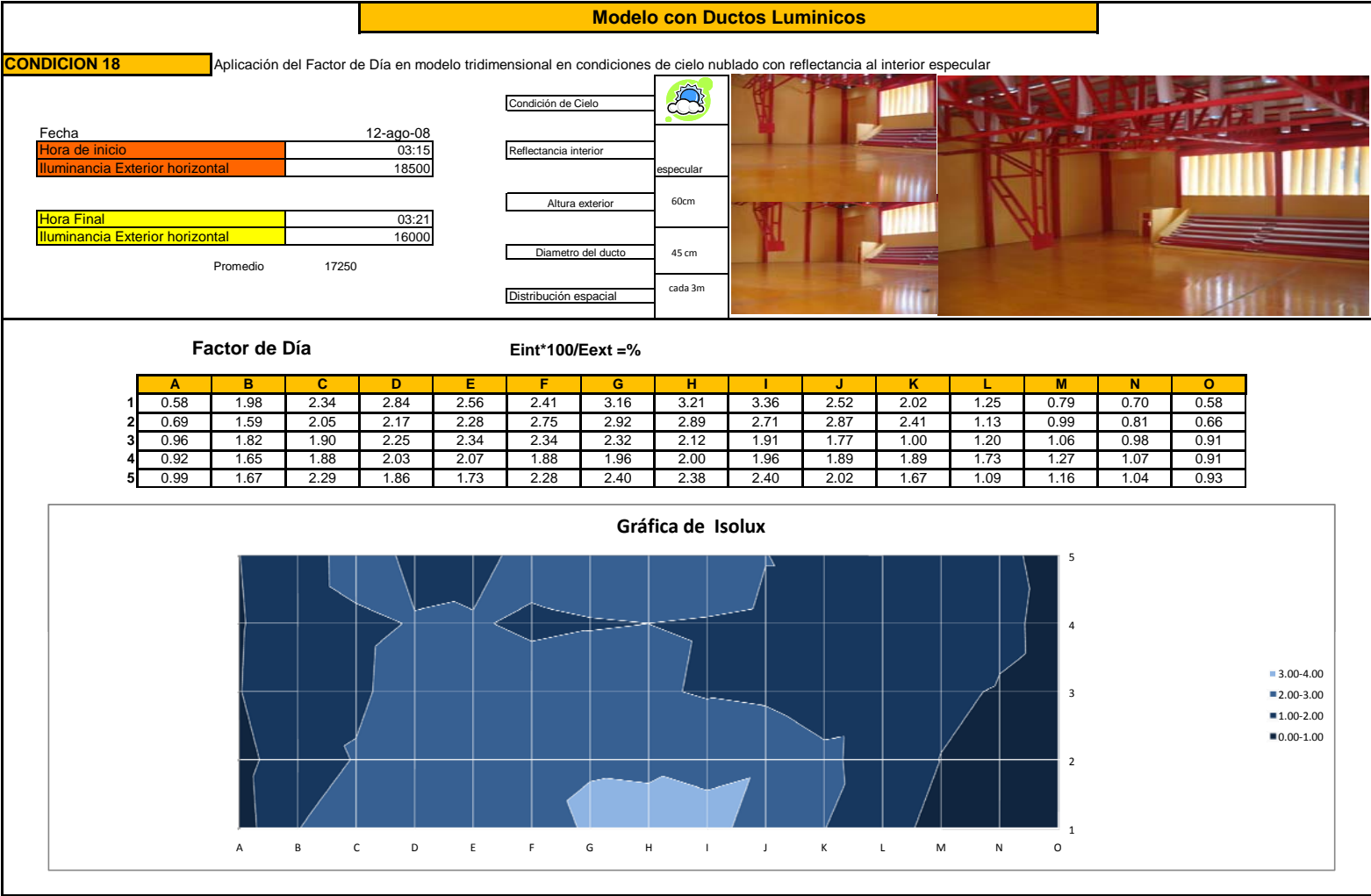
### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	101	342	403	490	441	416	546	554	579	434	349	216	137	120	101
2	119	274	353	374	393	474	504	498	467	495	416	194	171	140	114
3	166	315	328	387	403	403	401	366	330	305	172	207	183	168	158
4	158	285	324	351	356	324	338	345	338	326	326	298	219	184	157
5	170	287	395	321	298	393	415	410	413	348	288	187	200	180	161

### Cielo Nublado con Reflectancia Interior Especular



**Fig. 222** Condición 18: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45cm, con distribución espacial de 3m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.





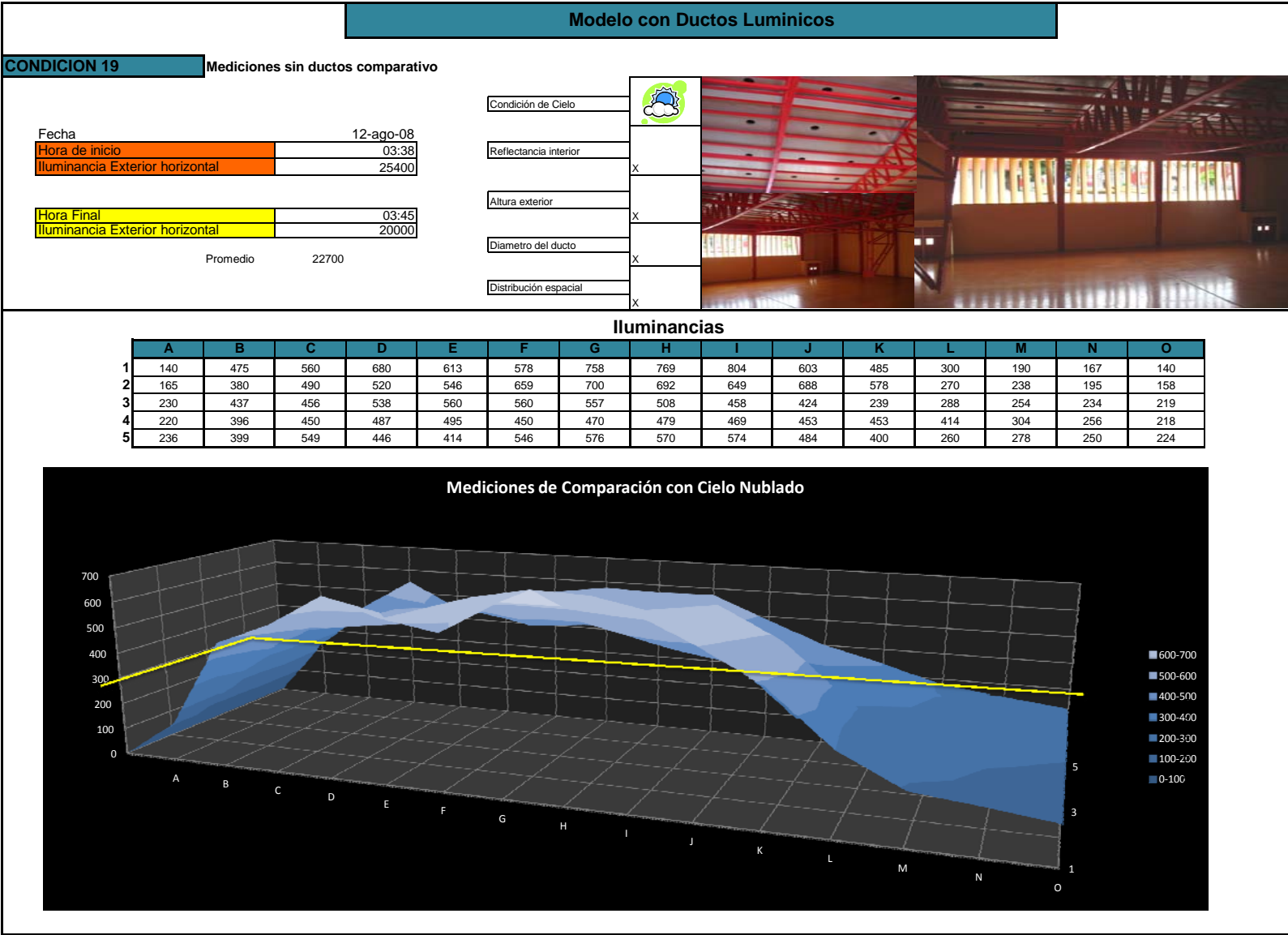


Fig. 224 Condición 19: Modelo tridimensional en condiciones de luz de Día en cielo nublado con techos cubiertos.

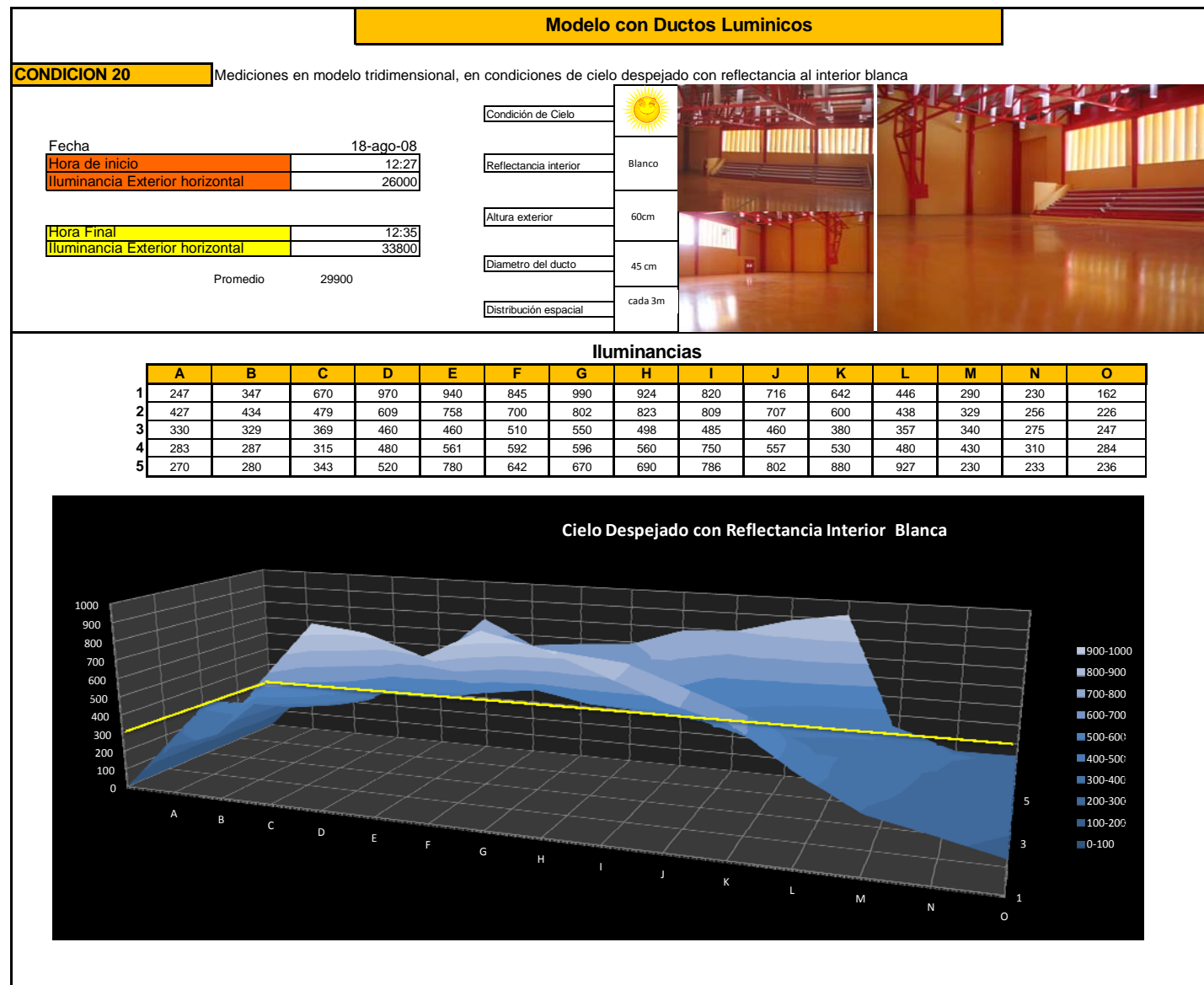
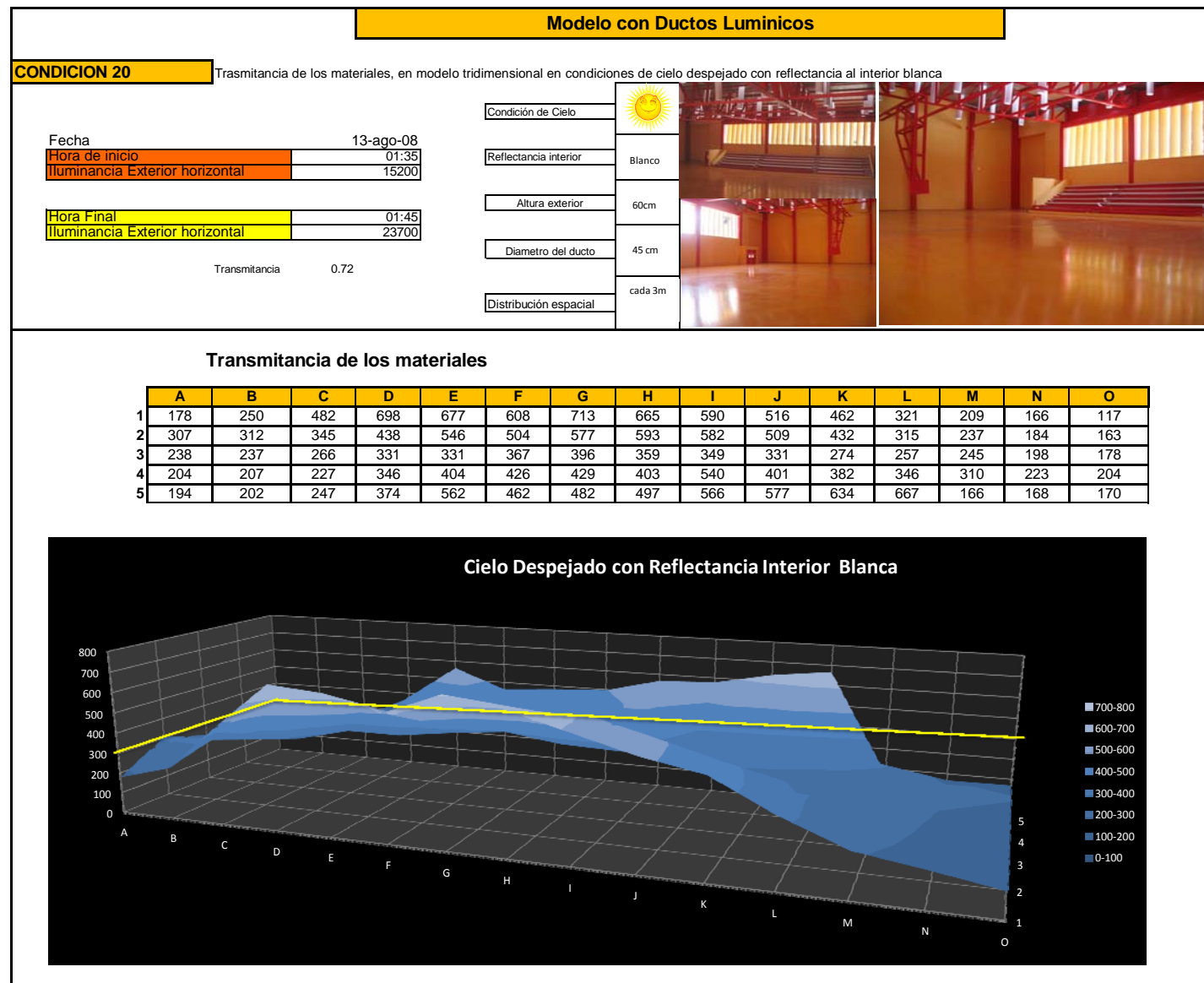
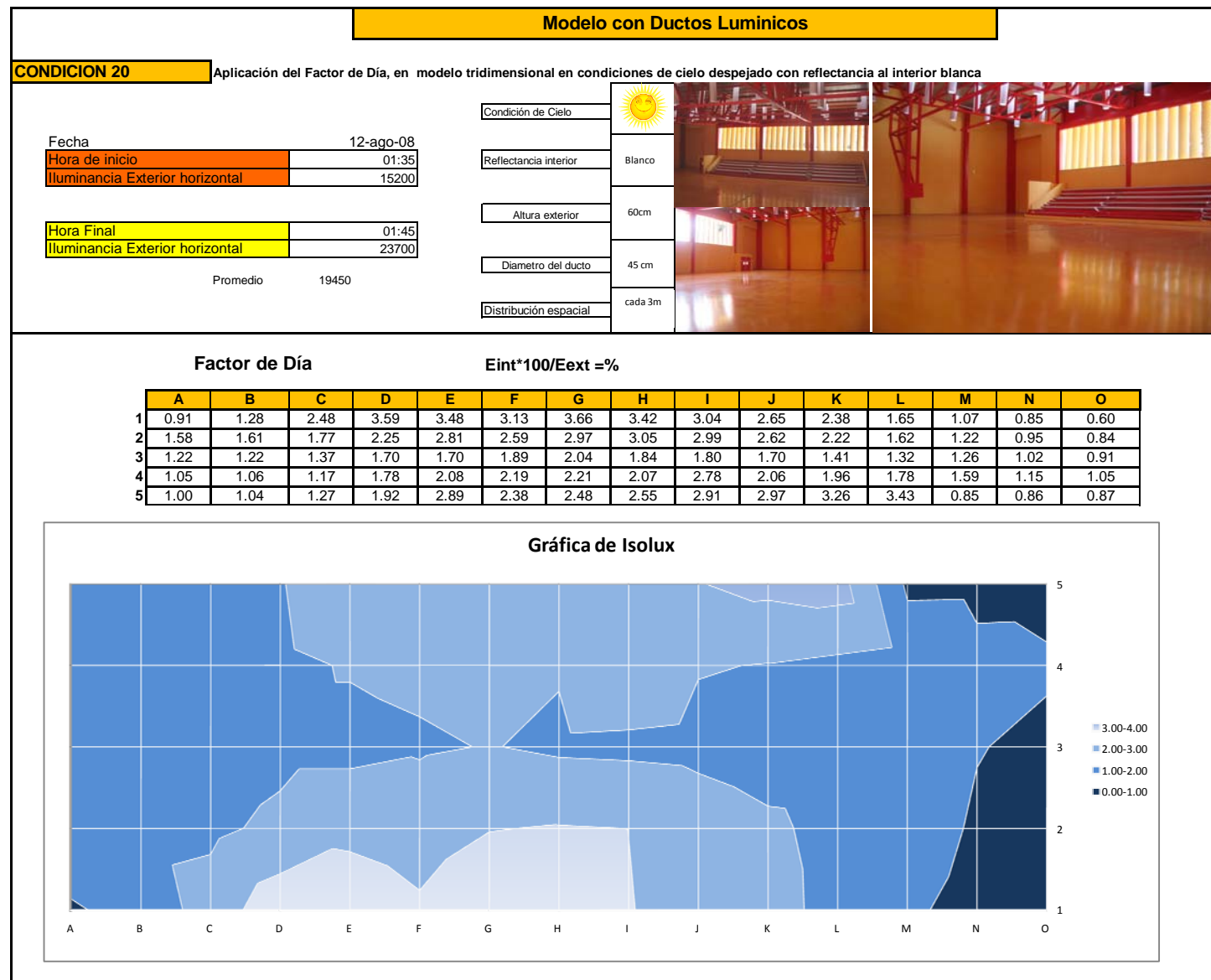


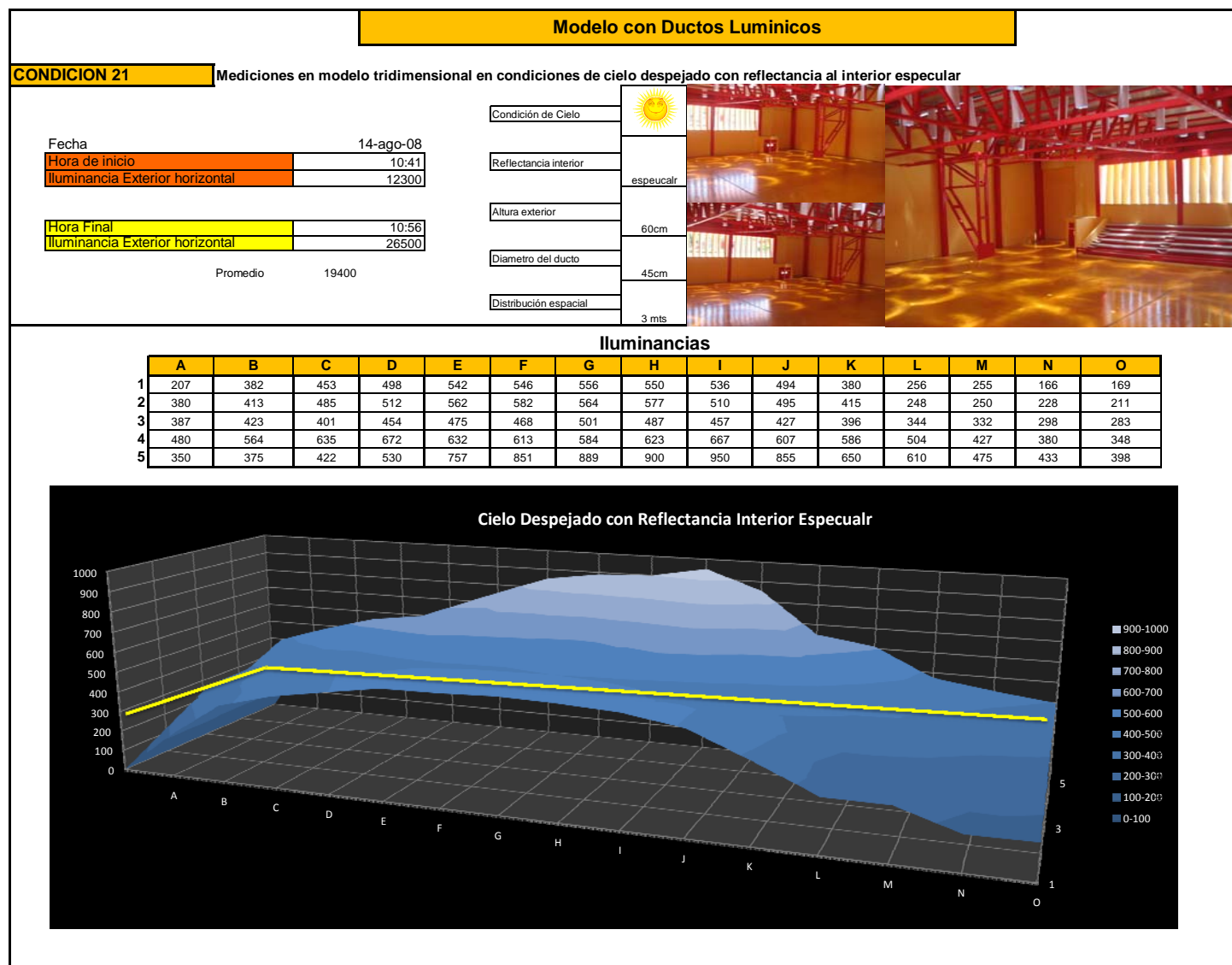
Fig. 225 Condición 20: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3m.



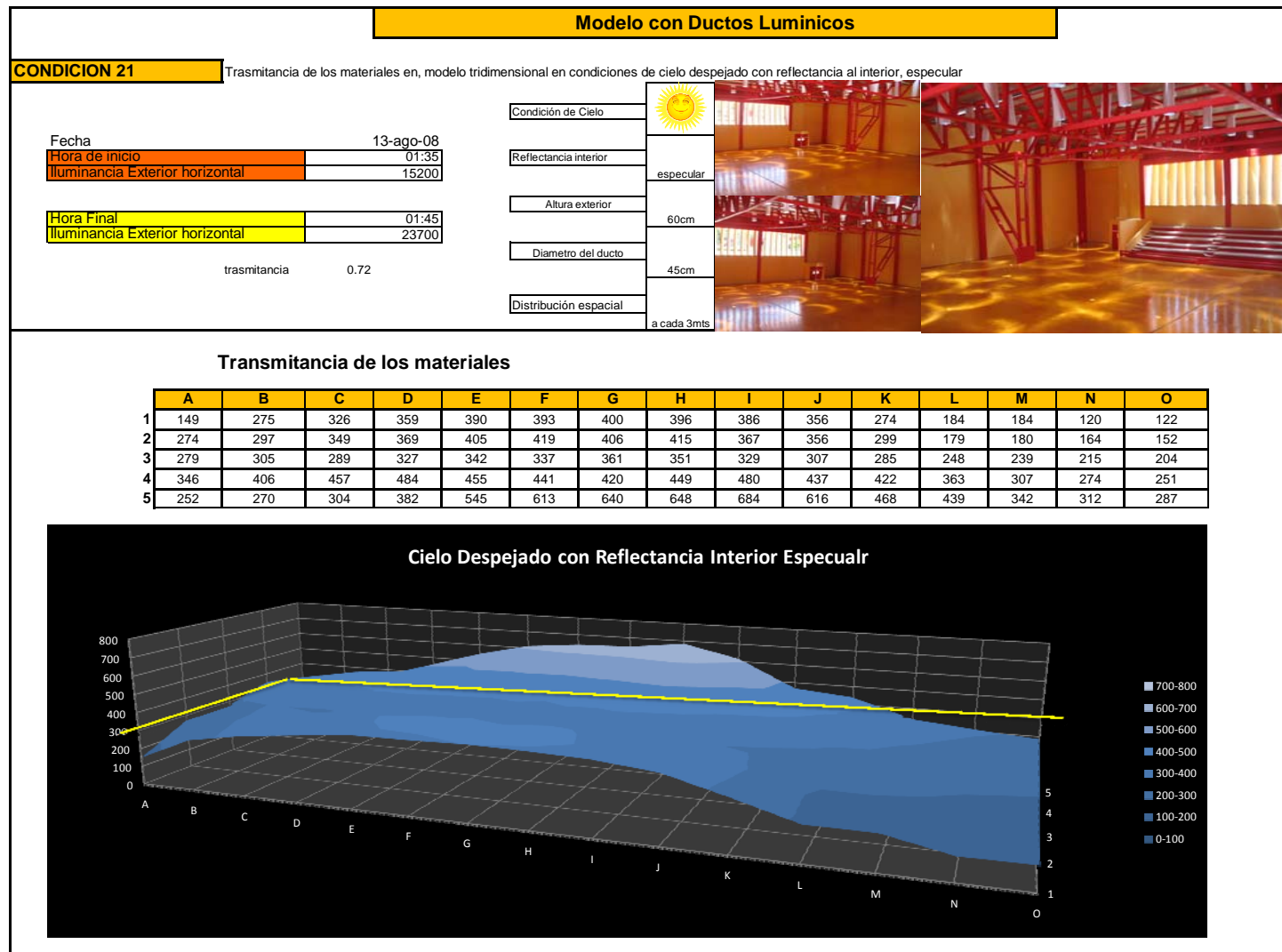
**Fig. 226** Condición 20: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45cm, con distribución espacial de 3m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



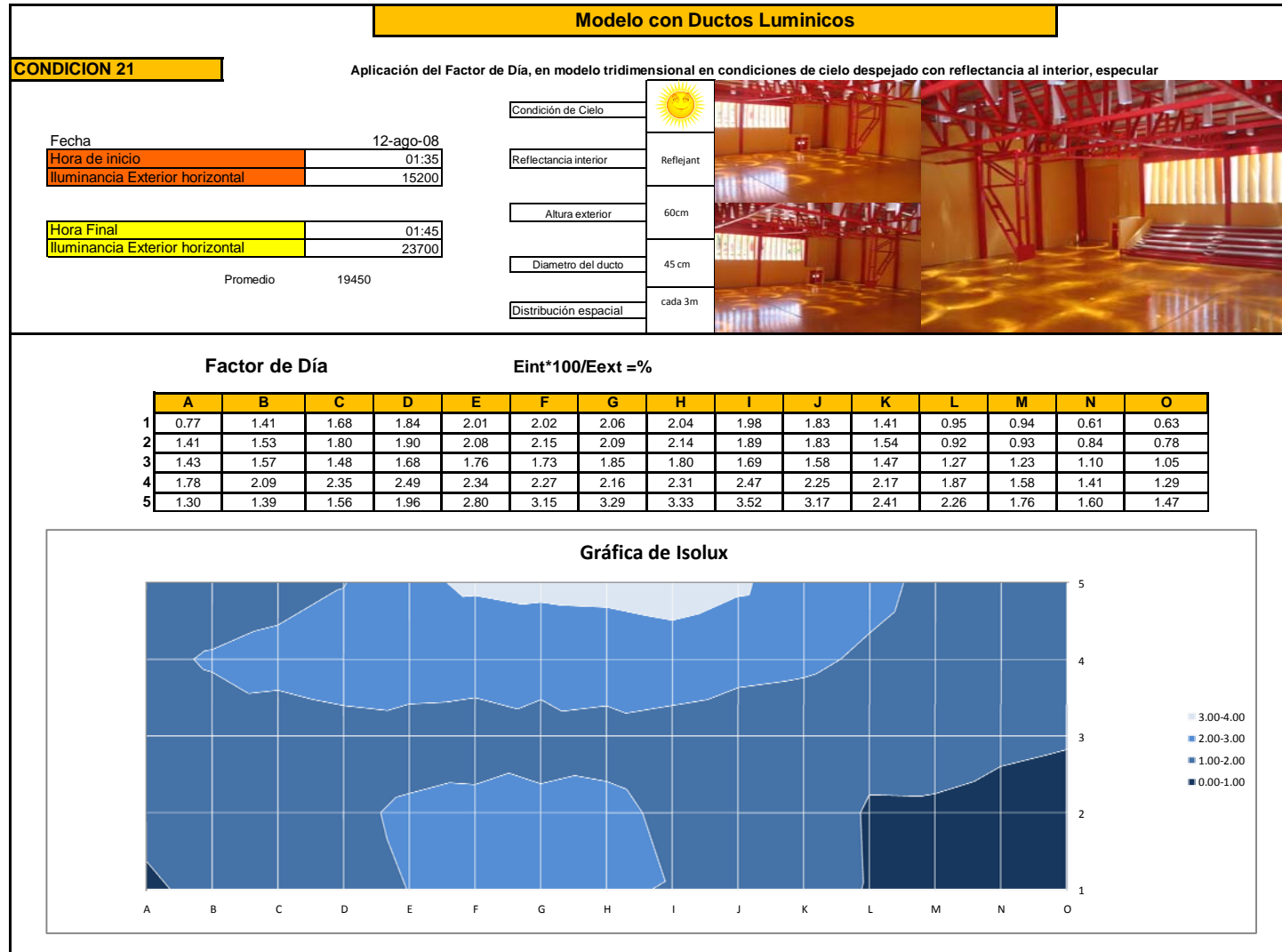
**Fig. 227** Condición 20: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.



**Fig. 228** Condición 21: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 45 cm , con una distribución espacial de 3m.



**Fig. 229** Condición 21: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 230** Condición 21: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 45 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.



## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 22

Mediciones en modelo tridimensional, en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca

Fecha 19-ago-08

Hora de inicio 10:15

Iluminancia Exterior horizontal 18500

Hora Final 10:23

Iluminancia Exterior horizontal 19400

Promedio 18950

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60cm

Diametro del ducto

60 cm

Distribución espacial

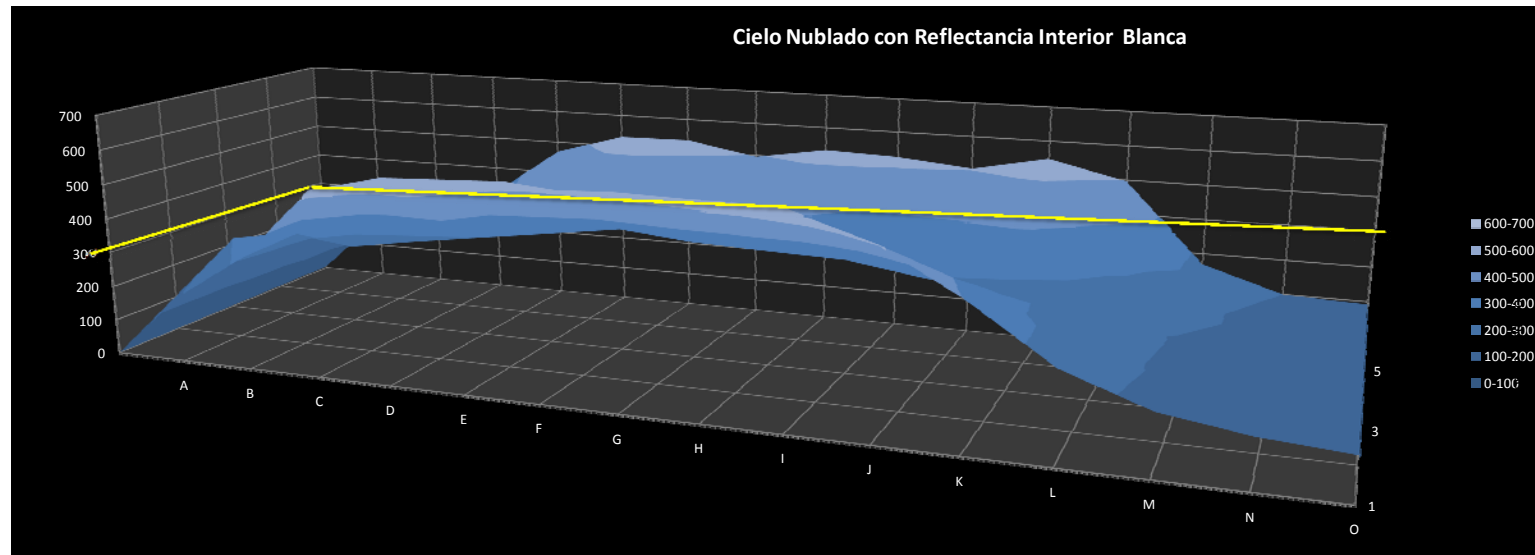
cada 3m



### Iluminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	191	325	530	583	556	584	593	589	584	517	396	249	169	136	120
2	303	336	425	418	538	519	506	489	462	406	345	243	186	145	125
3	261	235	269	300	331	362	342	335	329	296	271	231	194	118	173
4	221	268	289	412	467	432	409	426	384	396	416	335	254	119	196
5	195	226	273	469	531	534	496	531	524	504	548	496	269	200	192

### Cielo Nublado con Reflectancia Interior Blanca



**Fig. 231** Condición 22: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m.



## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 22 Transmitancia de los materiales, en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca

Fecha 13-ago-08  
 Hora de inicio 01:35  
 Iluminancia Exterior horizontal 15200

Hora Final 01:45  
 Iluminancia Exterior horizontal 23700

Transmitancia 0.72

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60cm

Diámetro del ducto

60 cm

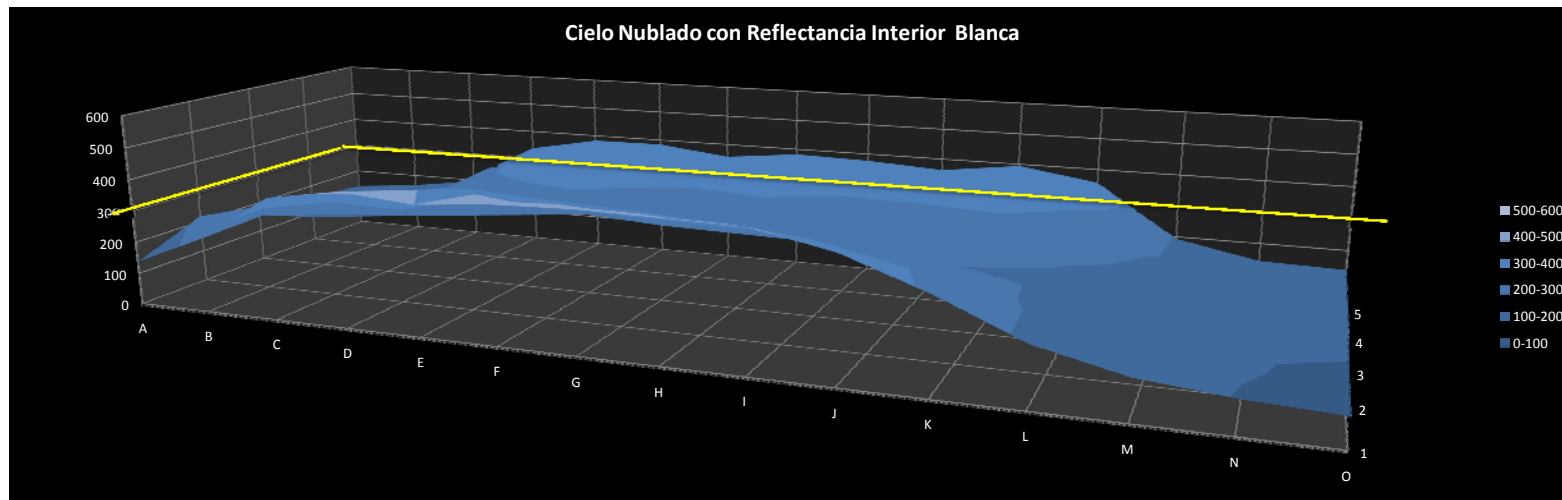
Distribución espacial

cada 3m



### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	138	234	382	420	400	420	427	424	420	372	285	179	122	98	86
2	218	242	306	301	387	374	364	352	333	292	248	175	134	104	90
3	188	169	194	216	238	261	246	241	237	213	195	166	140	123	125
4	159	193	208	297	336	311	294	307	276	285	300	241	183	134	141
5	140	163	197	338	382	384	357	382	377	363	395	357	194	144	138



**Fig. 232** Condición 22: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.

## Modelo con Ductos Luminicos

**CONDICION 22** Aplicación del Factor de Día, en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca

Fecha 12-ago-08

Hora de inicio 01:35

Iluminancia Exterior horizontal 15200

Hora Final 01:45

Iluminancia Exterior horizontal 23700

Promedio 19450

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60cm

Diámetro del ducto

60 cm

Distribución espacial

cada 3m

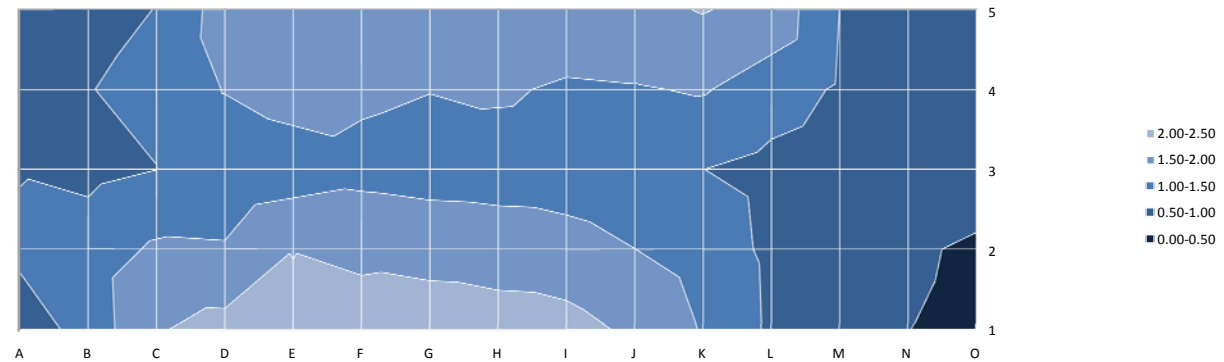


**Factor de Día**

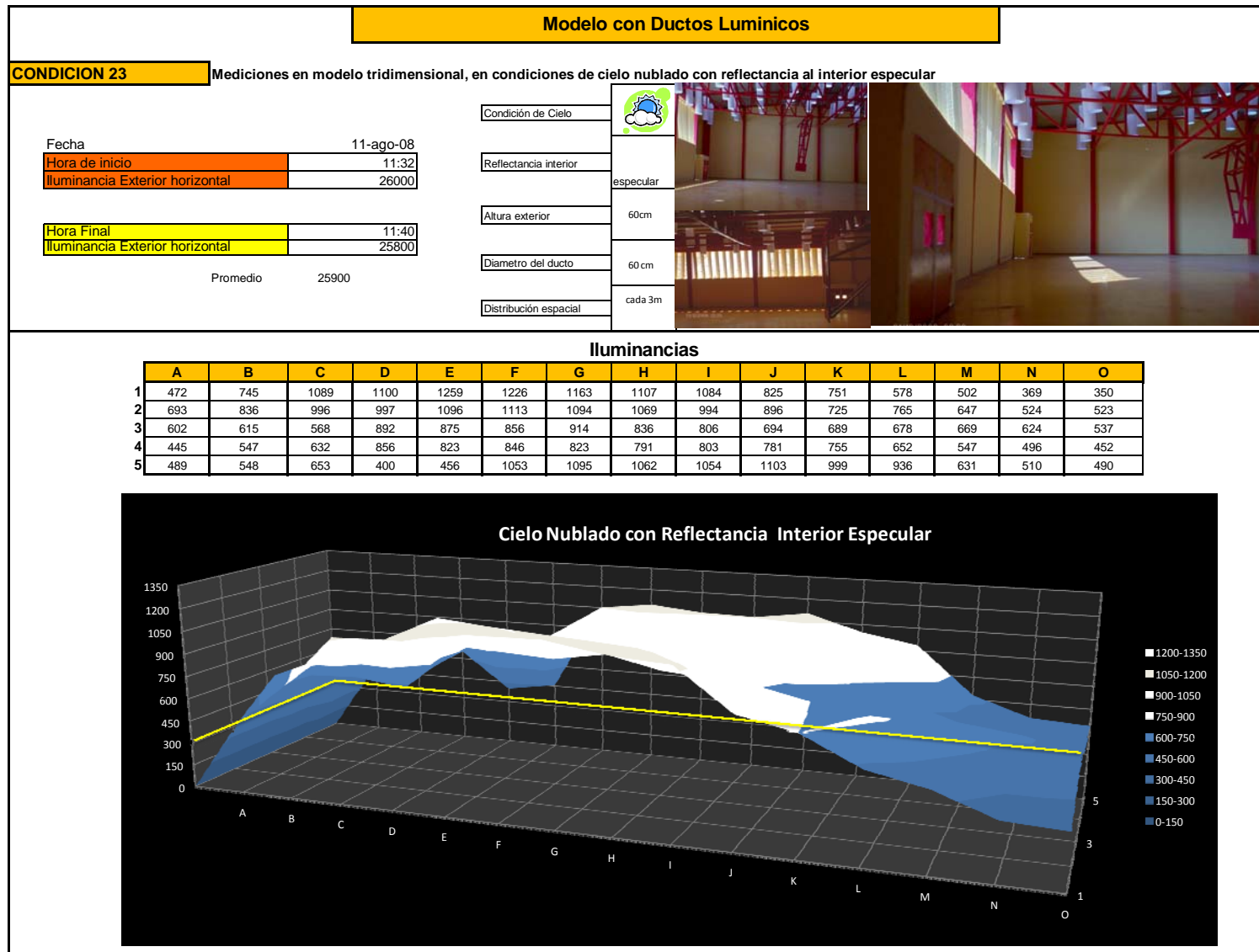
$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.71	1.20	1.96	2.16	2.06	2.16	2.20	2.18	2.16	1.91	1.47	0.92	0.63	0.50	0.44
2	1.12	1.24	1.57	1.55	1.99	1.92	1.87	1.81	1.71	1.50	1.28	0.90	0.69	0.54	0.46
3	0.97	0.87	1.00	1.11	1.23	1.34	1.27	1.24	1.22	1.10	1.00	0.86	0.72	0.63	0.64
4	0.82	0.99	1.07	1.53	1.73	1.60	1.51	1.58	1.42	1.47	1.54	1.24	0.94	0.69	0.73
5	0.72	0.84	1.01	1.74	1.97	1.98	1.84	1.97	1.94	1.87	2.03	1.84	1.00	0.74	0.71

**Gráfica de Isolux**



**Fig. 233** Condición 22: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.




**Fig. 234** Condición 23: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, especular con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60 cm , con una distribución espacial de 3 m.

## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 23

Transmitancia de los Materiales, en el modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular

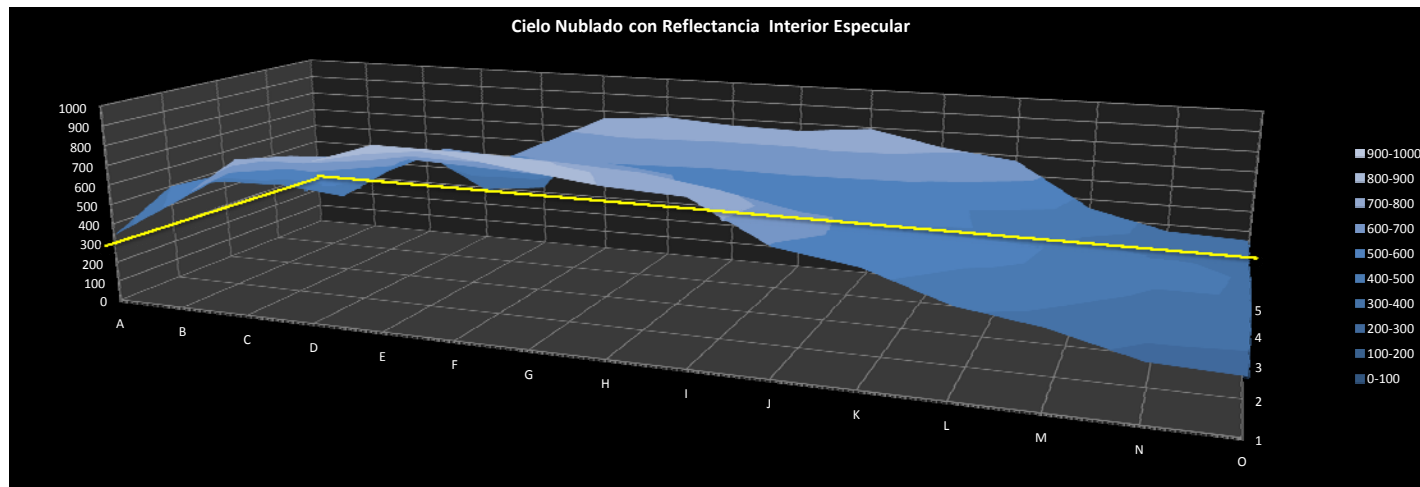
Fecha	11-ago-08
Hora de inicio	11:32
Illuminancia Exterior horizontal	26000
Hora Final	11:40
Illuminancia Exterior horizontal	25800
Transmitancia	0.72

Condición de Cielo	
Reflectancia interior	especular
Altura exterior	60cm
Diámetro del ducto	60 cm
Distribución espacial	cada 3m



### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	340	536	784	792	906	883	837	797	780	594	541	416	361	266	252
2	499	602	717	718	789	801	788	770	716	645	522	551	466	377	377
3	433	443	409	642	630	616	658	602	580	500	496	488	482	449	387
4	320	394	455	616	593	609	593	570	578	562	544	469	394	357	325
5	352	395	470	288	328	758	788	765	759	794	719	674	454	367	353



**Fig. 235** Condición 23: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.

## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 23

Aplicación del Factor de Día, en modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior espeuclar

Fecha 11-ago-08  
 Hora de inicio 11:32  
 Iluminancia Exterior horizontal 26000

Hora Final 11:40  
 Iluminancia Exterior horizontal 25800

Promedio 25900

Condición de Cielo



Reflectancia interior

espeuclar

Altura exterior

60cm

Diámetro del ducto

60 cm

Distribución espacial

cada 3m

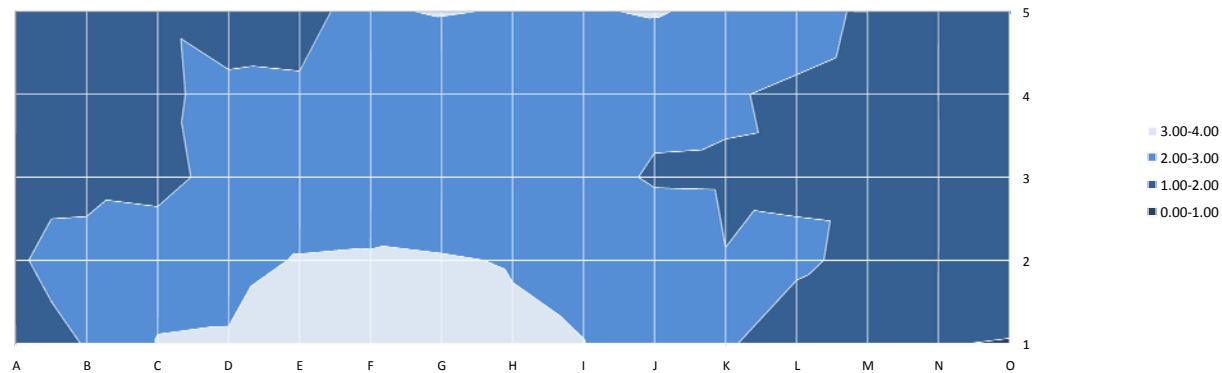


### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1.31	2.07	3.03	3.06	3.50	3.41	3.23	3.08	3.01	2.29	2.09	1.61	1.40	1.03	0.97
2	1.93	2.32	2.77	2.77	3.05	3.09	3.04	2.97	2.76	2.49	2.02	2.13	1.80	1.46	1.45
3	1.67	1.71	1.58	2.48	2.43	2.38	2.54	2.32	2.24	1.93	1.92	1.88	1.86	1.73	1.49
4	1.24	1.52	1.76	2.38	2.29	2.35	2.29	2.20	2.23	2.17	2.10	1.81	1.52	1.38	1.26
5	1.36	1.52	1.82	1.11	1.27	2.93	3.04	2.95	2.93	3.07	2.78	2.60	1.75	1.42	1.36

### Gráfico de Isolux



**Fig. 236** Condición 23: Modelo tridimensional en condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior espeuclar, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.

## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 24

Mediciones en modelo tridimensional, en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca

Fecha 20-ago-08

Hora de inicio 12:27:00 a.m.

Illuminancia Exterior horizontal 17500

Hora Final 12:39 a.m.

Illuminancia Exterior horizontal 18400

Promedio 17950

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60 cm

Diámetro del ducto

60 cm

Distribución espacial

3mts



### Illuminancias

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	304	336	440	615	788	886	876	654	769	678	800	788	723	456	567
2	338	372	414	543	860	768	698	713	782	593	568	786	765	832	456
3	343	374	410	367	540	636	758	855	896	912	973	982	909	789	567
4	265	300	320	349	390	466	755	607	636	647	651	696	699	685	643
5	266	273	322	332	393	489	602	664	709	732	755	736	745	666	606

### Cielo Despejado con Reflectancia Interior Blanca

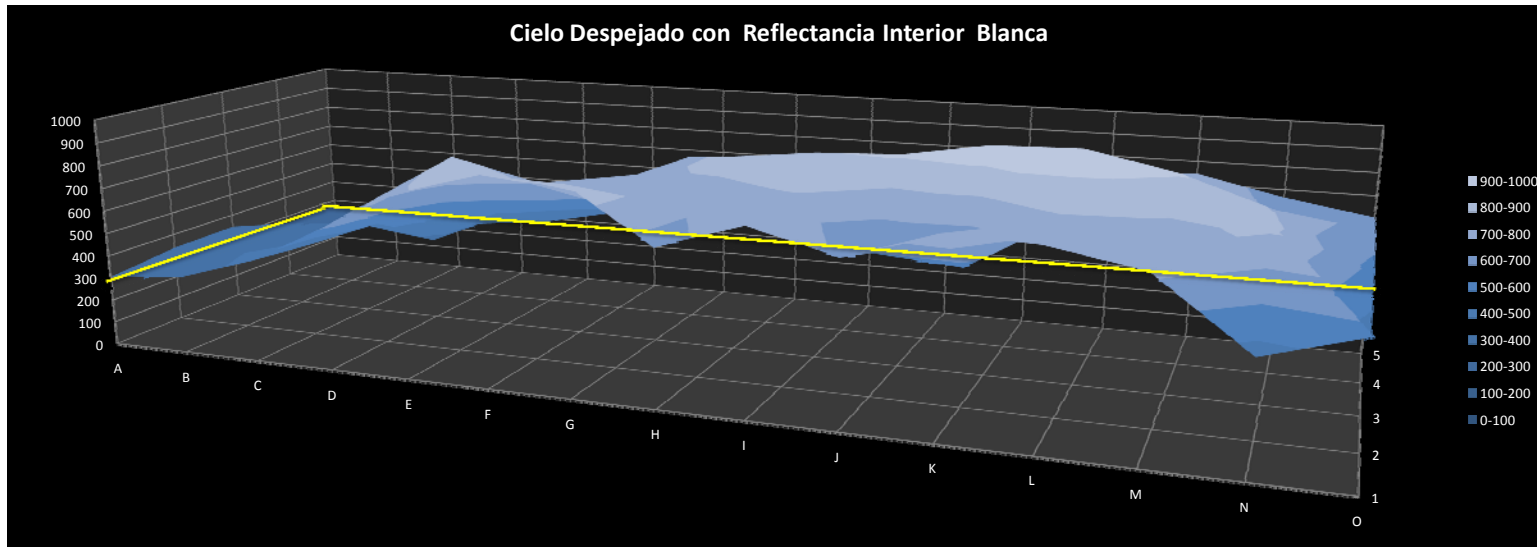


Fig. 237 Condición 24: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con un diámetro de 60cm, con una distribución espacial de 3m

## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 24 Transmitancia de los materiales, en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca

Fecha 13-ago-08  
 Hora de inicio 01:35  
 Iluminancia Exterior horizontal 15200

Hora Final 01:45  
 Iluminancia Exterior horizontal 23700

Transmitancia 0.72

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60cm

Dímetro del ducto

60 cm

Distribución espacial

cada 3m



### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	219	242	317	443	567	638	631	471	554	488	576	567	521	328	408
2	243	268	298	391	619	553	503	513	563	427	409	566	551	599	328
3	247	269	295	264	389	458	546	616	645	657	701	707	654	568	408
4	191	216	230	251	281	336	544	437	458	466	469	501	503	493	463
5	192	197	232	239	283	352	433	478	510	527	544	530	536	480	436

### Cielo Despejado con Reflectancia Interior Blanca

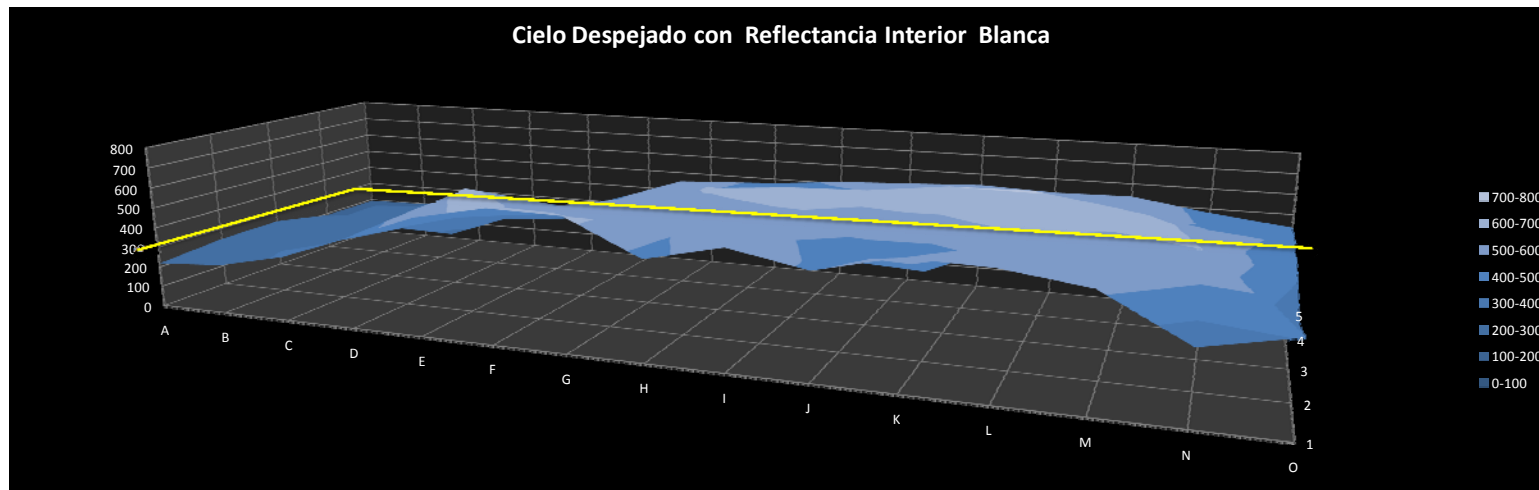


Fig. 238 Condición 24: Condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 mts, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 24 Aplicación del Factor de Día, en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca

Fecha 12-ago-08  
 Hora de inicio 01:35  
 Iluminancia Exterior horizontal 15200

Hora Final 01:45  
 Iluminancia Exterior horizontal 23700

Promedio 19450

Condición de Cielo



Reflectancia interior

Blanco

Altura exterior

60cm

Diámetro del ducto

60 cm

Distribución espacial

cada 3m



### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1.13	1.24	1.63	2.28	2.92	3.28	3.24	2.42	2.85	2.51	2.96	2.92	2.68	1.69	2.10
2	1.25	1.38	1.53	2.01	3.18	2.84	2.58	2.64	2.89	2.20	2.10	2.91	2.83	3.08	1.69
3	1.27	1.38	1.52	1.36	2.00	2.35	2.81	3.17	3.32	3.38	3.60	3.64	3.36	2.92	2.10
4	0.98	1.11	1.18	1.29	1.44	1.73	2.79	2.25	2.35	2.40	2.41	2.58	2.59	2.54	2.38
5	0.98	1.01	1.19	1.23	1.45	1.81	2.23	2.46	2.62	2.71	2.79	2.72	2.76	2.47	2.24

### Gráfico de Isolux

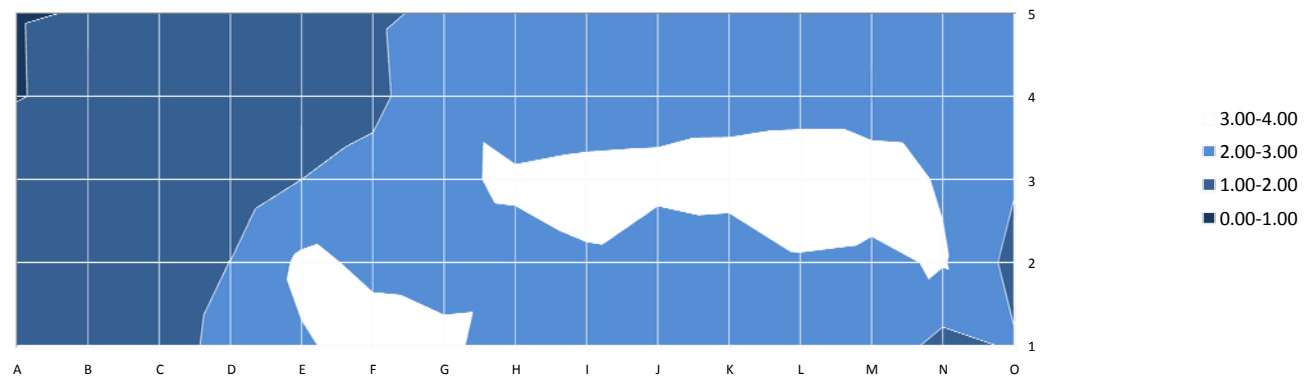
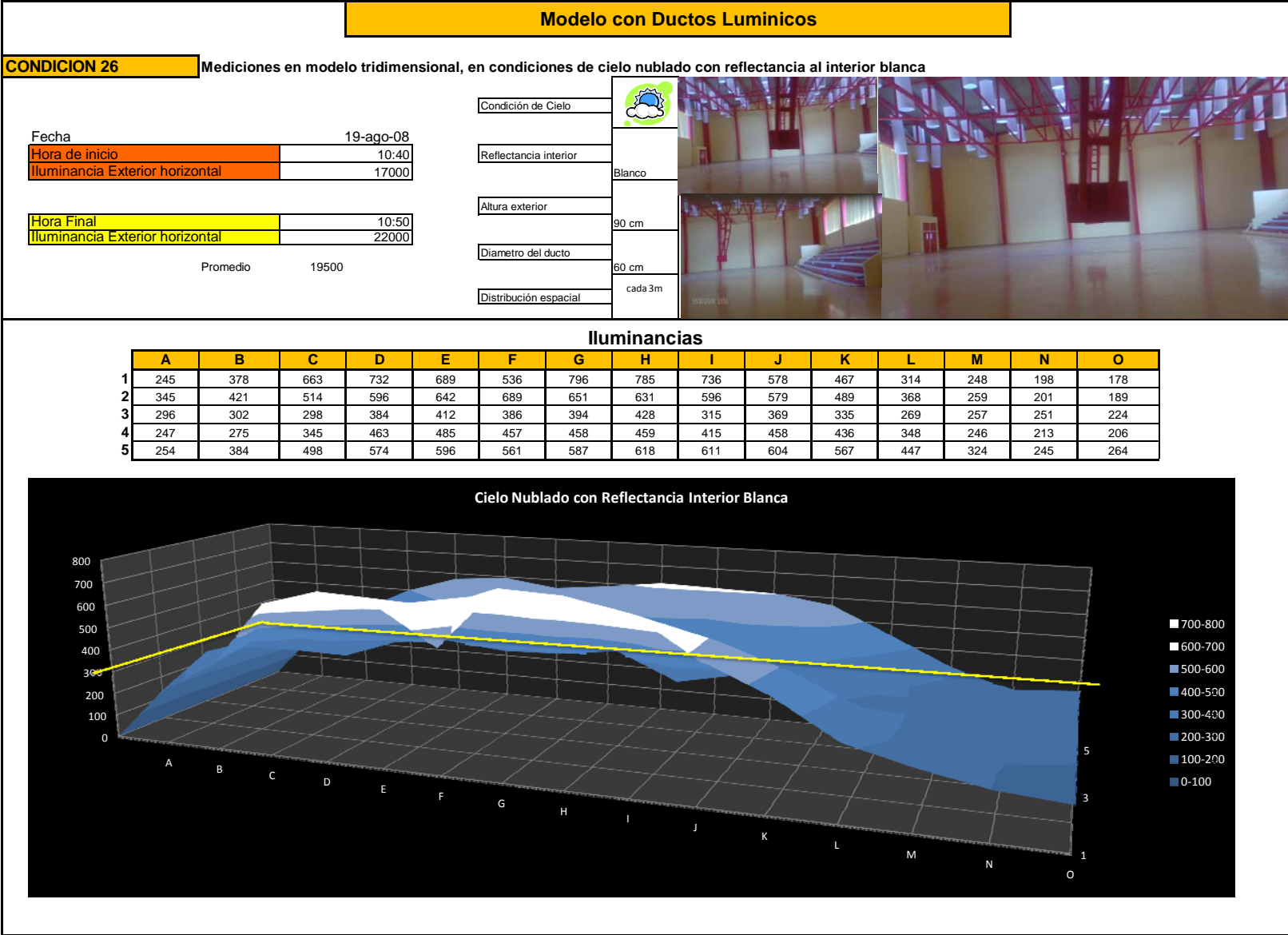
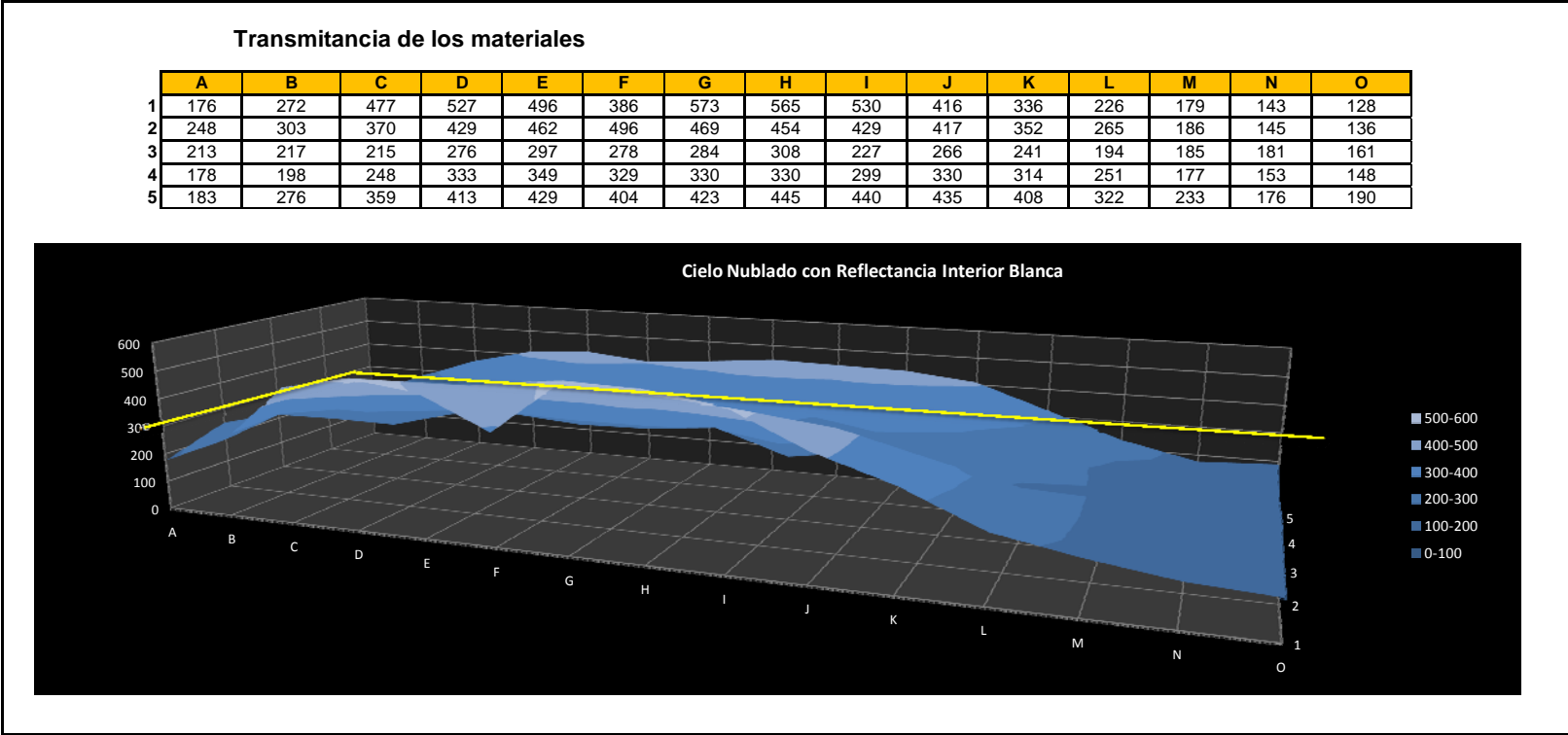


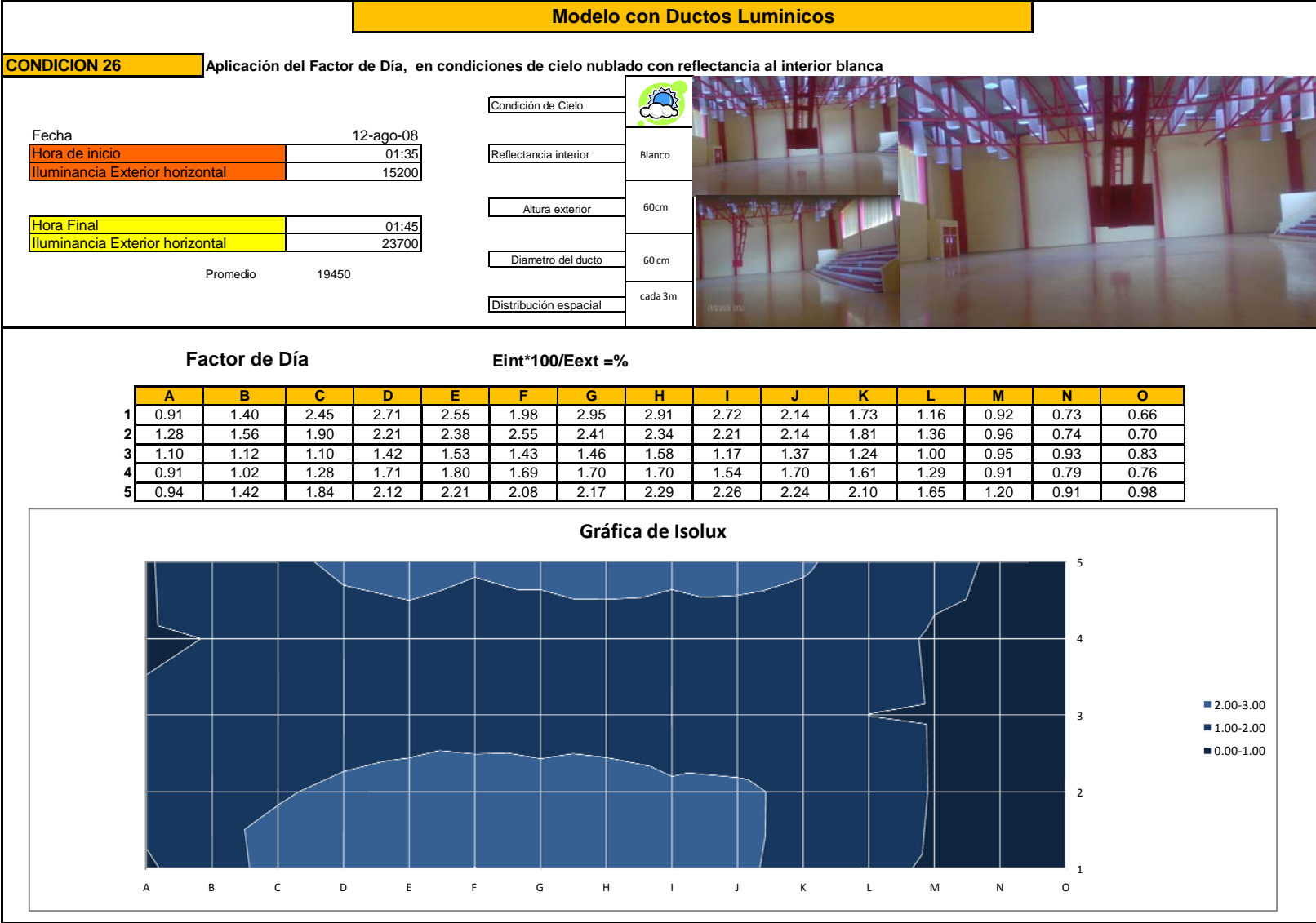
Fig. 239 Condición 24: Modelo tridimensional en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior blanca, con una altura exterior de 60 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3 mts, con Factor de Día.







**Fig. 244** Condición 26: Condiciones de cielo nublado con reflectancia al interior, blanca con una altura exterior de 90 cm, con diámetro de 60 cm, con distribución espacial de 3m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



## 8.7. Monitoreo del los Niveles de Iluminación de la Alternativa de Diseño Seleccionado

Descripción de la alternativa de diseño, donde se obtuvieron los niveles de confort lumínico requeridos dentro de los parámetros necesarios para ser un espacio iluminado con luz natural durante el día. Las características de la alternativa de diseño son: (Tabla 25).

Características de la Alternativa de Diseño		
1	Diámetro del ducto	45 cm
2	Materiales al interior	especular
3	Geometría: altura exterior	60 cm
4	Distribución espacial	3 m
5	condiciones de cielo	Cielo despejado

Tabla 25. Características del Diseño del ducto lumínico, seleccionado

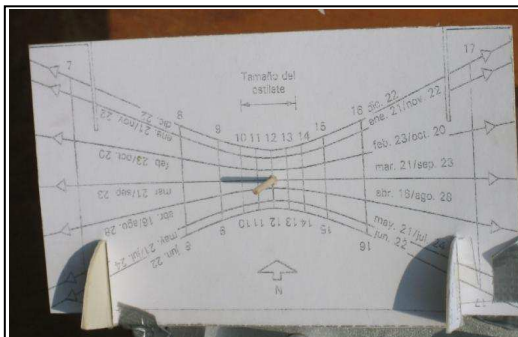
Se realizó un estudio de comportamiento lumínico del la alternativa de diseño en determinadas fechas y horas para comprobar su comportamiento en diferentes estaciones del año, como son los solsticios y los equinoccios mediante el uso del GNOMON o reloj solar<sup>29</sup>, con secuencias fotográficas. Se realizó un monitoreo de las fechas más significativas del año para realizar una secuencia de comparación lumínica a partir de la obtención de datos, es decir se estudio con más precisión el comportamiento lumínico del dispositivo de iluminación natural en cuanto a su funcionamiento a lo largo del año. El monitoreo se realizó en las siguientes fechas y horas:

- 21 de Marzo a las 9 A.M., 12 A.M. y 15 P.M.
- 21 de Junio a las 9 A.M., 12 A.M. y 15 P.M.
- 22 de Diciembre a las 9 A.M., 12 A.M. y 15 P.M.

<sup>29</sup>GNOMON o reloj solar, se utiliza para ver los diferentes equinoccios y solsticios, de las 9am a las 16:00 hrs. Ver anexo IV, para precisar en el diagrama.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON.

**21 de Marzo a las 9 A.M.**



**Fig. 260.** El GNOMON a las 9 A.M.



**Fig. 261** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 262** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 263** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



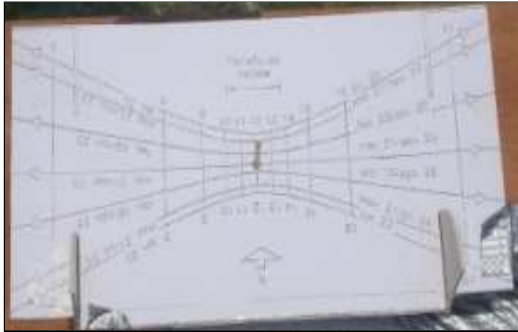
**Fig. 264** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 265** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **21 de Marzo a las 12 A.M.**



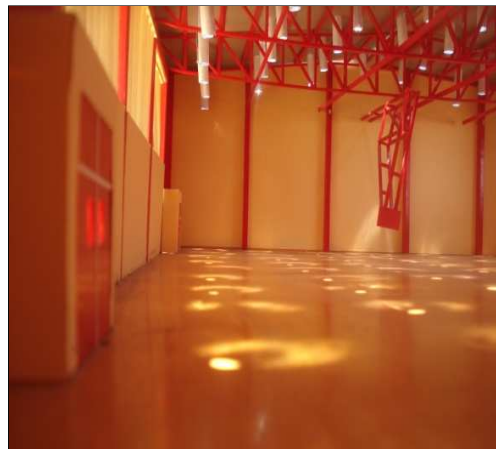
**Fig. 266** El GNOMON a las 12. A.M.



**Fig. 267** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 268** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 269** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

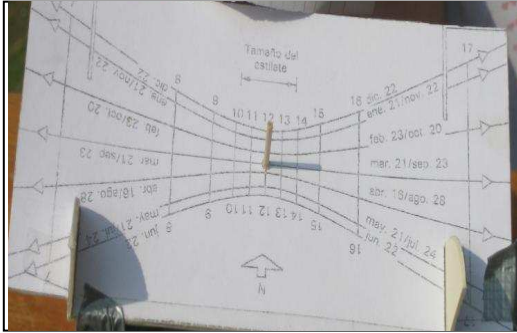


**Fig. 270** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 271.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **21 de Marzo a las 3 P.M.**



**Fig. 272.** El GNOMON a las 3. A.M.



**Fig. 273.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 274.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 275.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

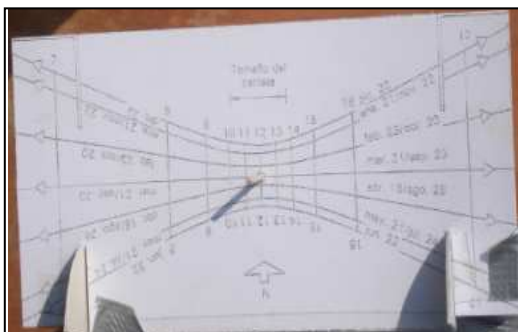


**Fig. 276.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

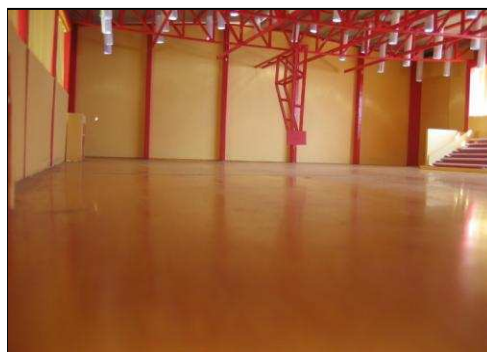


**Fig. 277.** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Junio a las 9 A.M.**



**Fig. 278** El GNOMON a las 9. A.M.



**Fig.279** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 280** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 281** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



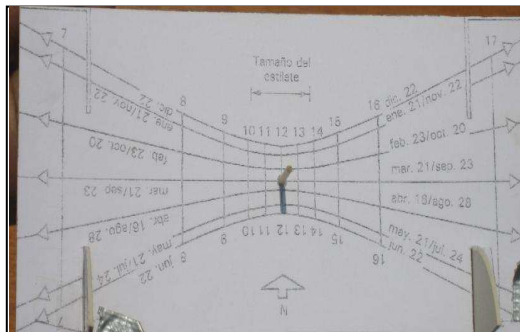
**Fig. 282** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 283** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



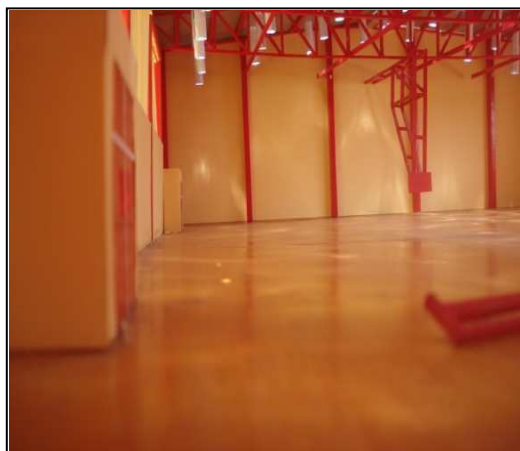
Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Junio a las 12 A.M.**



**Fig. 284** El GNOMON a las 12. A.M.



**Fig. 285** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 286** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 287** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

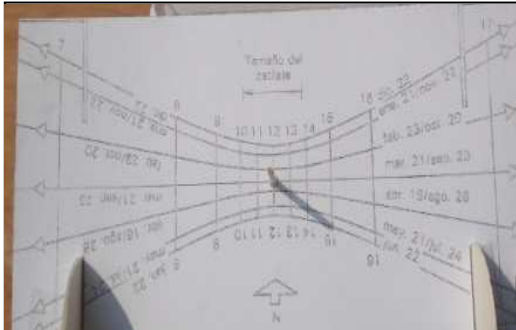


**Fig. 288** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 289** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Junio a las 3 P.M.**



**Fig. 290** El GNOMON a las 3. P.M. 22 de Junio



**Fig. 291** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 292** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 293** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

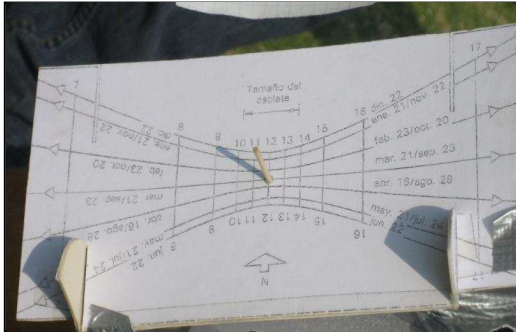


**Fig. 294** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 295** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Diciembre a las 9 A.M.**



**Fig. 296** El GNOMON a las 9. A.M.



**Fig. 297** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 298** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 299** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



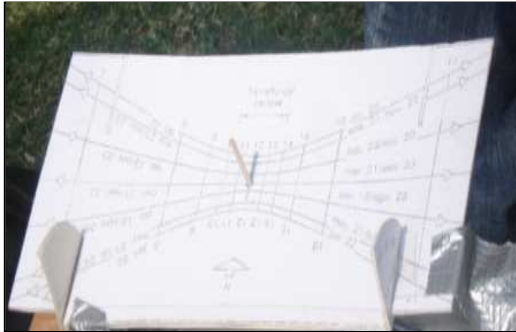
**Fig. 300** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



**Fig. 301** Comportamiento lumínico Interior del modelo a escala a las 9 A.M.



Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Diciembre a las 12 A.M.**



**Fig. 302** El GNOMON a las 12. A.M. 22 de diciembre



**Fig. 303** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 304** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 305** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

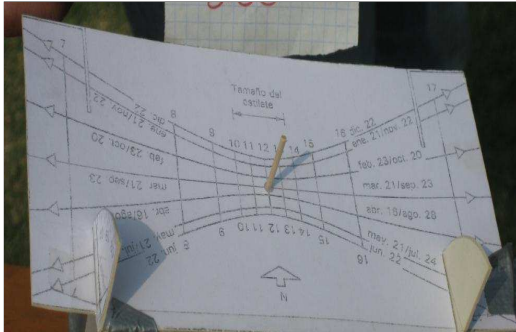


**Fig. 306** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.



**Fig. 307** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 12 A.M.

Se presenta la secuencia fotográfica del comportamiento lumínico al interior del gimnasio, realizada con el GNOMON. El **22 de Diciembre a las 3 P.M.**



**Fig. 308** El GNOMON a las 3:00 P.M. 22 de diciembre



**Fig. 309** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 310** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 311** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.



**Fig. 312** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M



**Fig. 313** Comportamiento lumínico al interior del modelo a escala a las 3 P.M.

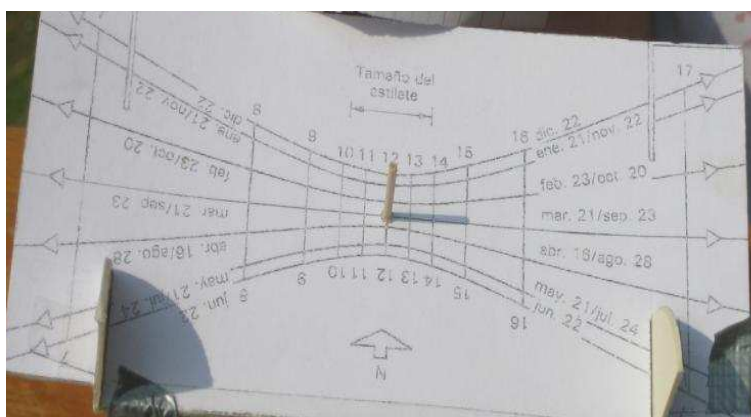
### 8.7.1. Monitoreo de la Alternativa de Diseño Seleccionada en el Modelo Tridimensional.

Las alternativas diseño de los ductos lumínicos se clasificaron por condiciones lumínicas como son: Cielo despejado, fecha y hora de captación solar. (Tabla 26)

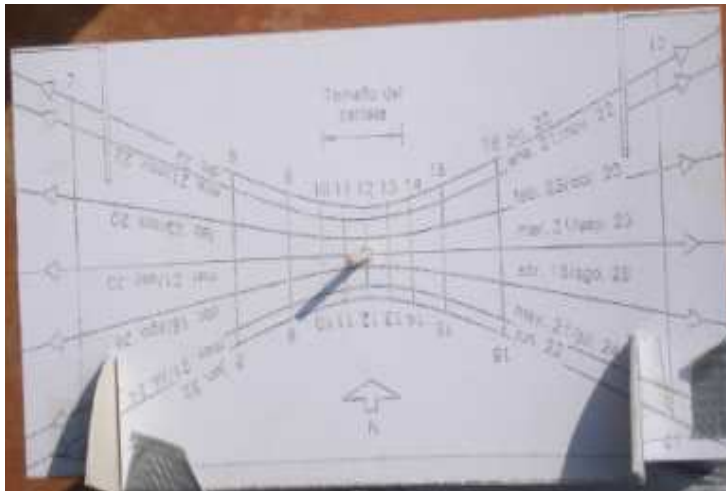
CONDICIONES LUMINICAS DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO			
MODELO TRIDIMENSIONAL CON LA MEJOR ALTERNATIVA DE DISEÑO DE DUCTOS LUMINICOS	21 de Marzo	9: 00 A.M.	CONDICIÓN 30
		12:00 A.M.	CONDICIÓN 31
		3:00 P.M.	CONDICIÓN 32
	21 de Julio	9: 00 A.M.	CONDICIÓN 33
		12:00 A.M.	CONDICIÓN 34
		3:00 P.M.	CONDICIÓN 35
	22 de Diciembre	9: 00 A.M.	CONDICIÓN 36
		12:00 A.M.	CONDICIÓN 37
		3:00 P.M.	CONDICIÓN 38

**Tabla 26** condiciones lumínicas de la alternativa de diseño aplicadas al modelo tridimensional.

Se presenta el monitoreo de las condiciones lumínicas, de la alternativa de diseño del ducto lumínico, mediante la simulación en el GNOMON del 21 de Marzo, el 21 de Julio y el 22 de diciembre se realizó el monitoreo en tres horas específicas como son las 9:00 A.M. 12:00 P.M. y 3 P.M, en el modelo tridimensional, colocando en esta fecha y horas en el GNOMON (Figs. 314 y 315).



**Fig. 314.** GNOMON el 21 de Marzo.



**Fig. 315** GNOMON el 22 de Junio.

Se clasifican de la condición 30 a la condición 38, compuestas por los siguientes elementos:

1. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con la alternativa de ducto lumínico, con grafica del comportamiento lumínico, en la fecha y hora determinadas, mediante el GNOMON.
2. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con la alternativa de diseño de ducto lumínico, aplicando el coeficiente de trasmittancia con grafica del comportamiento lumínico.
3. Datos del monitoreo del modelo tridimensional con la alternativa de ducto lumínico, aplicando el factor de día, con grafica de Isolux.
4. Se marco una línea amarilla como referencia, para determinar el “nivel requerido de iluminación” al interior del gimnasio.

## **8.8. Monitoreo del Modelo Tridimensional con la Óptima Alternativa de Diseño del Ductos Lumínicos. Tablas y Graficas.**

- 8.8.2.1.** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.2.2.** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmittancia de los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 multiplicados dan como resultado una trasmittancia del 72% de incidencia solar.
- 8.8.2.3.** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m. con Factor de Día.
- 8.8.3.1.** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.3.2.** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmittancia de los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90



multiplicados dan como resultado una transmitancia del 72% de incidencia solar.

- 8.8.3.3.** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.con Factor de Día.
- 8.8.4.1.** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00P.M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.4.2.** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 multiplicados dan como resultado una transmitancia del 72% de incidencia solar.
- 8.8.4.3.** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.con Factor de Día.
- 8.8.5.1.** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

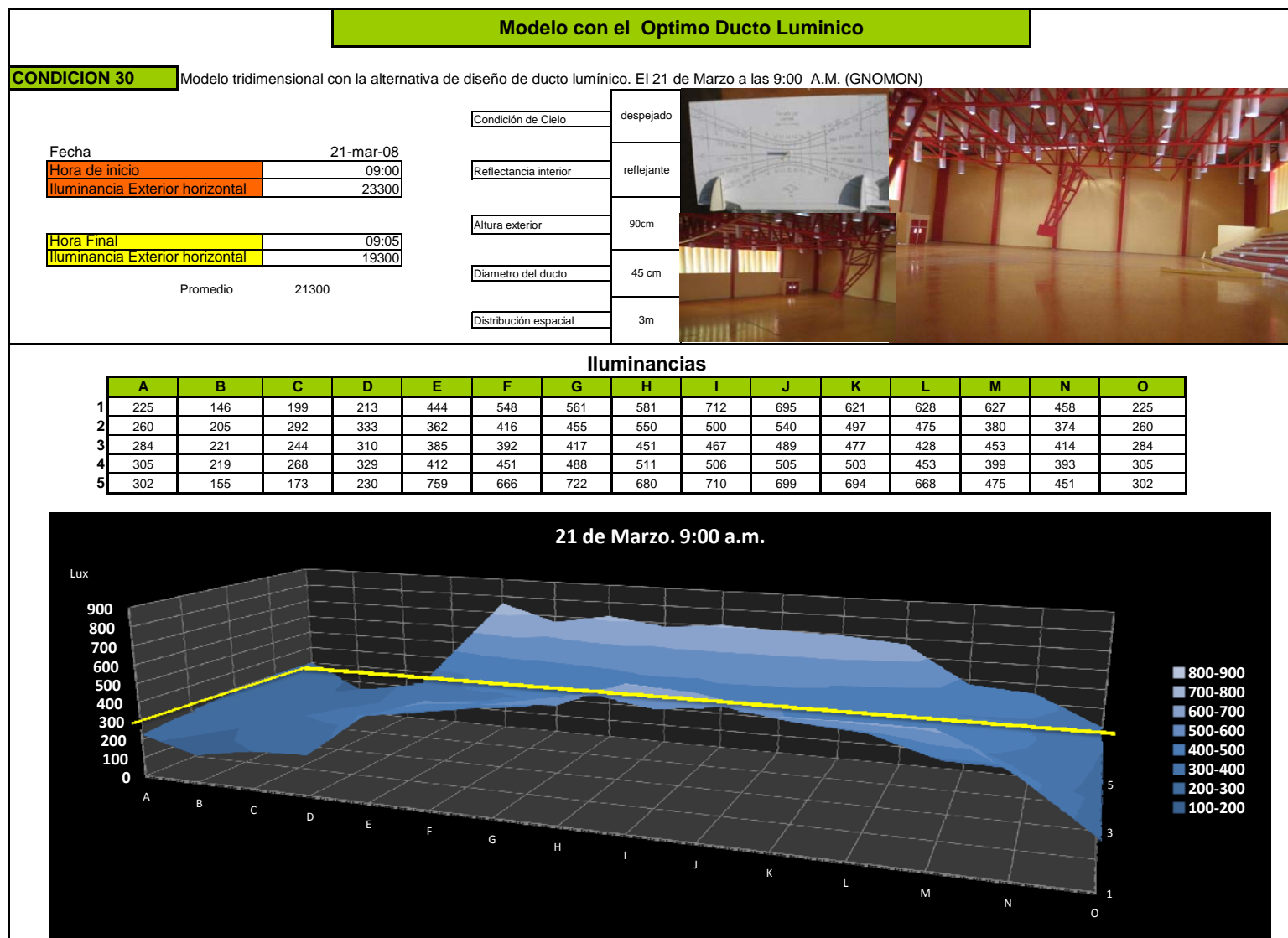
- 8.8.5.2.** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto
- 8.8.5.3.** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.6.1.** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.6.2.** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m. con Factor de Día.
- 8.8.6.3.** Condición 34 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 12:00P.M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.7.1.** Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P.M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior

especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

- 8.8.7.2.** Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.7.3.** Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.
- 8.8.8.1.** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.8.2.** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.8.3.** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.
- 8.8.9.1.** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 12:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior

especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

- 8.8.9.2.** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.9.3.** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 12:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.con Factor de Día.
- 8.8.10.1.** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.
- 8.8.10.2.** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.
- 8.8.10.3.** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.con Factor de Día.



**Fig. 301** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

## Modelo con el Optimo Ducto Luminico

### CONDICION 30

Modelo tridimensional con la alternativa de diseño de ducto luminico. El 21 de Marzo a las 9:00 A.M. (GNOMON), aplicando la transmitancia de los materiales.

Fecha 21-mar-08  
 Hora de inicio 09:00  
 Iluminancia Exterior horizontal 23300

Hora Final 09:05  
 Iluminancia Exterior horizontal 19300

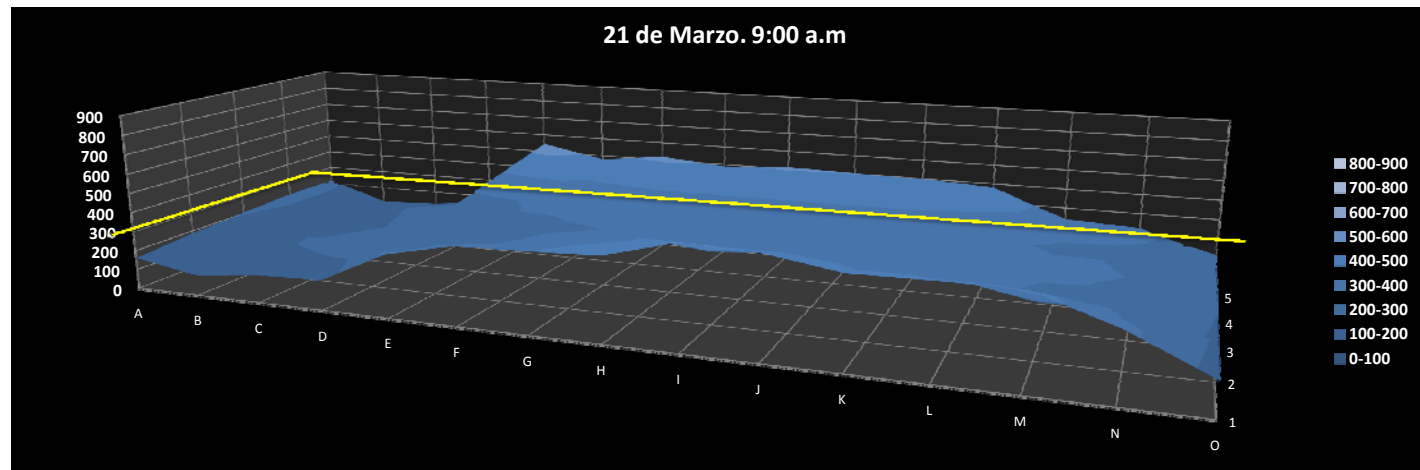
Transmitancia 0.72

Condición de Cielo despejado  
 Reflectancia interior reflejante  
 Altura exterior 90cm  
 Diametro del ducto 45 cm  
 Distribución espacial 3m

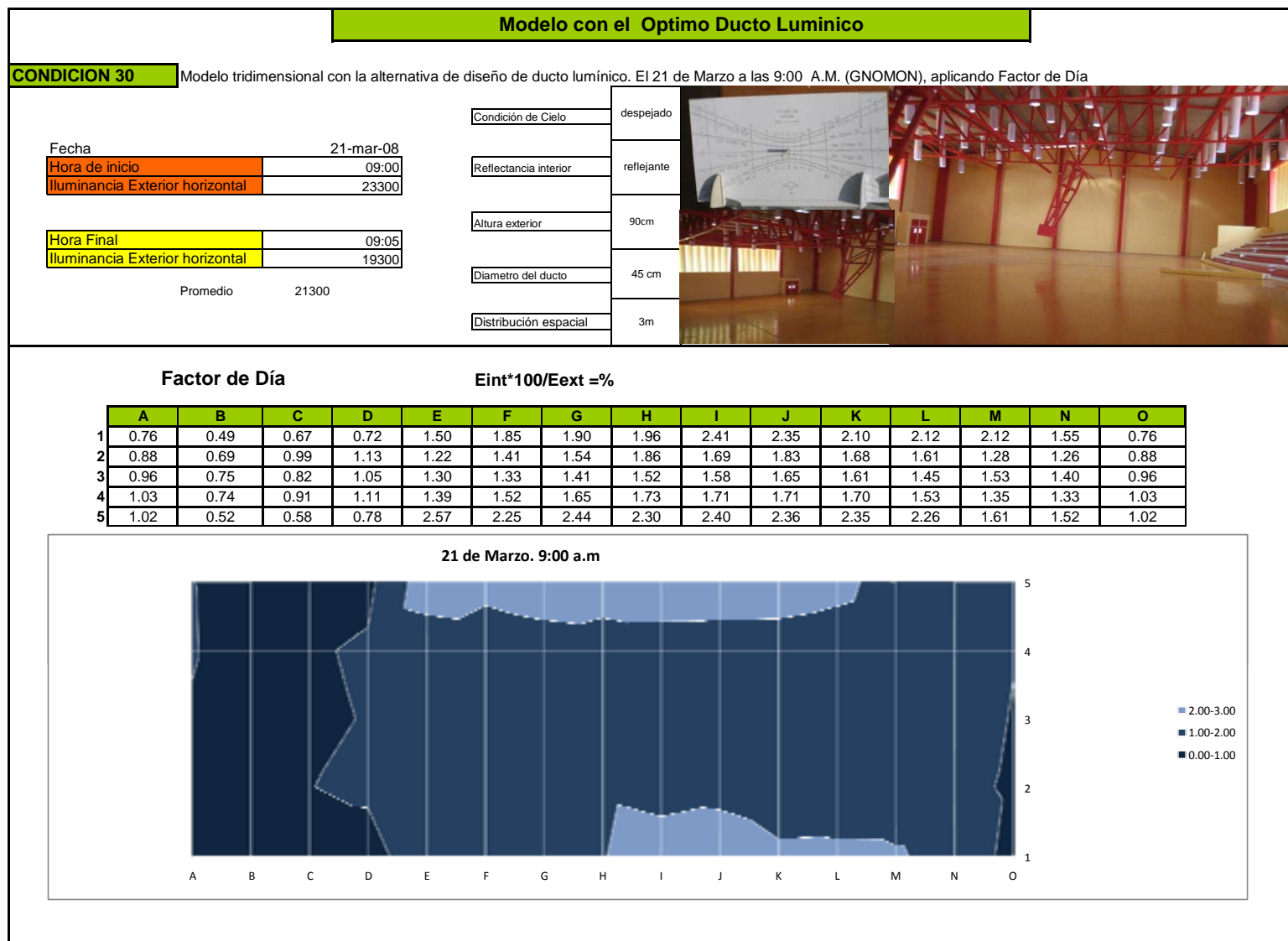


### Transmitancia de los materiales

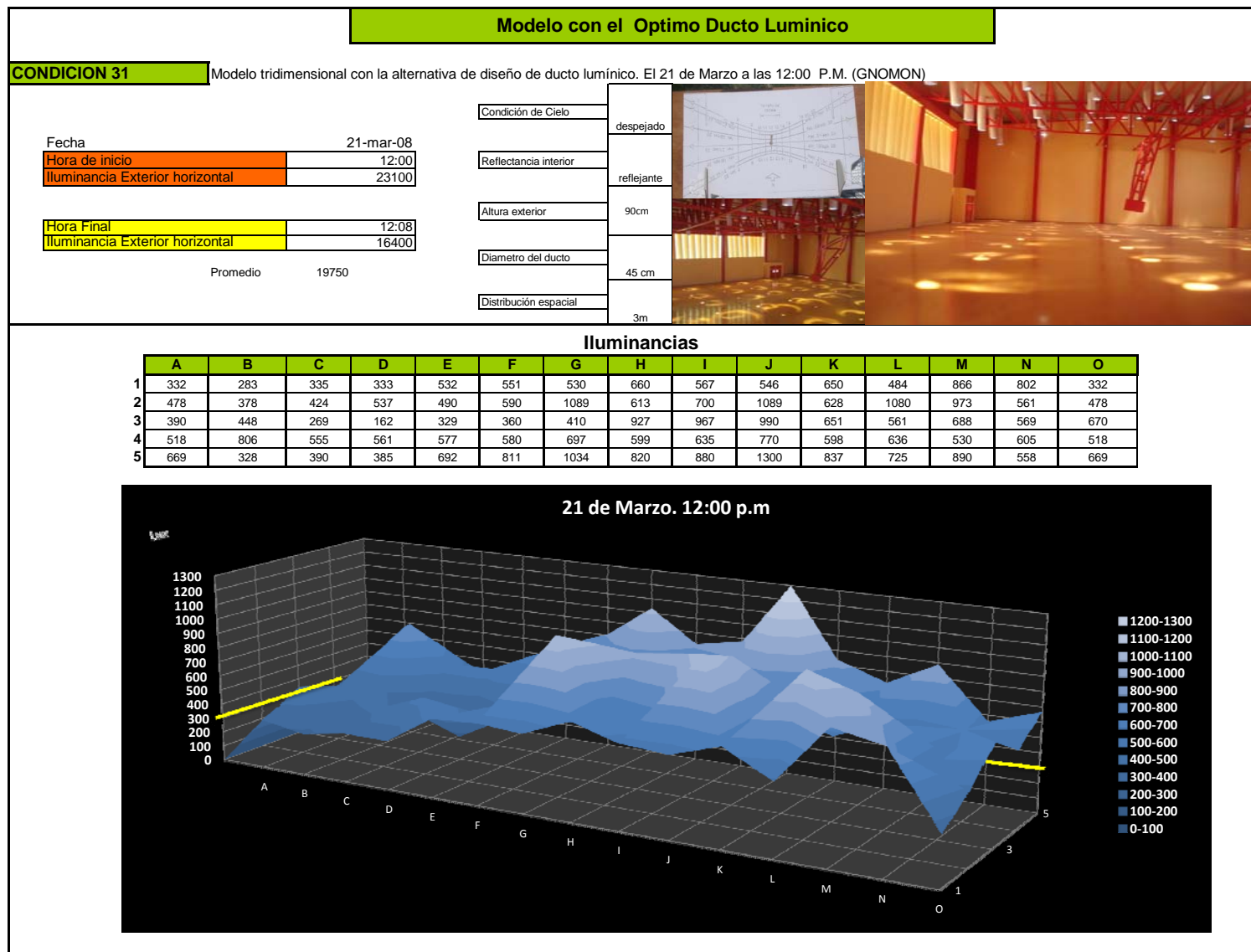
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	162	105	143	153	320	395	404	418	513	500	447	452	451	330	162
2	187	148	210	240	261	300	328	396	360	389	358	342	274	269	187
3	204	159	176	223	277	282	300	325	336	352	343	308	326	298	204
4	220	158	193	237	297	325	351	368	364	364	362	326	287	283	220
5	217	112	125	166	546	480	520	490	511	503	500	481	342	325	217



**Fig. 302** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmisancia del los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 multiplicados dan como resultado una trasmisancia del 72% de incidencia solar.

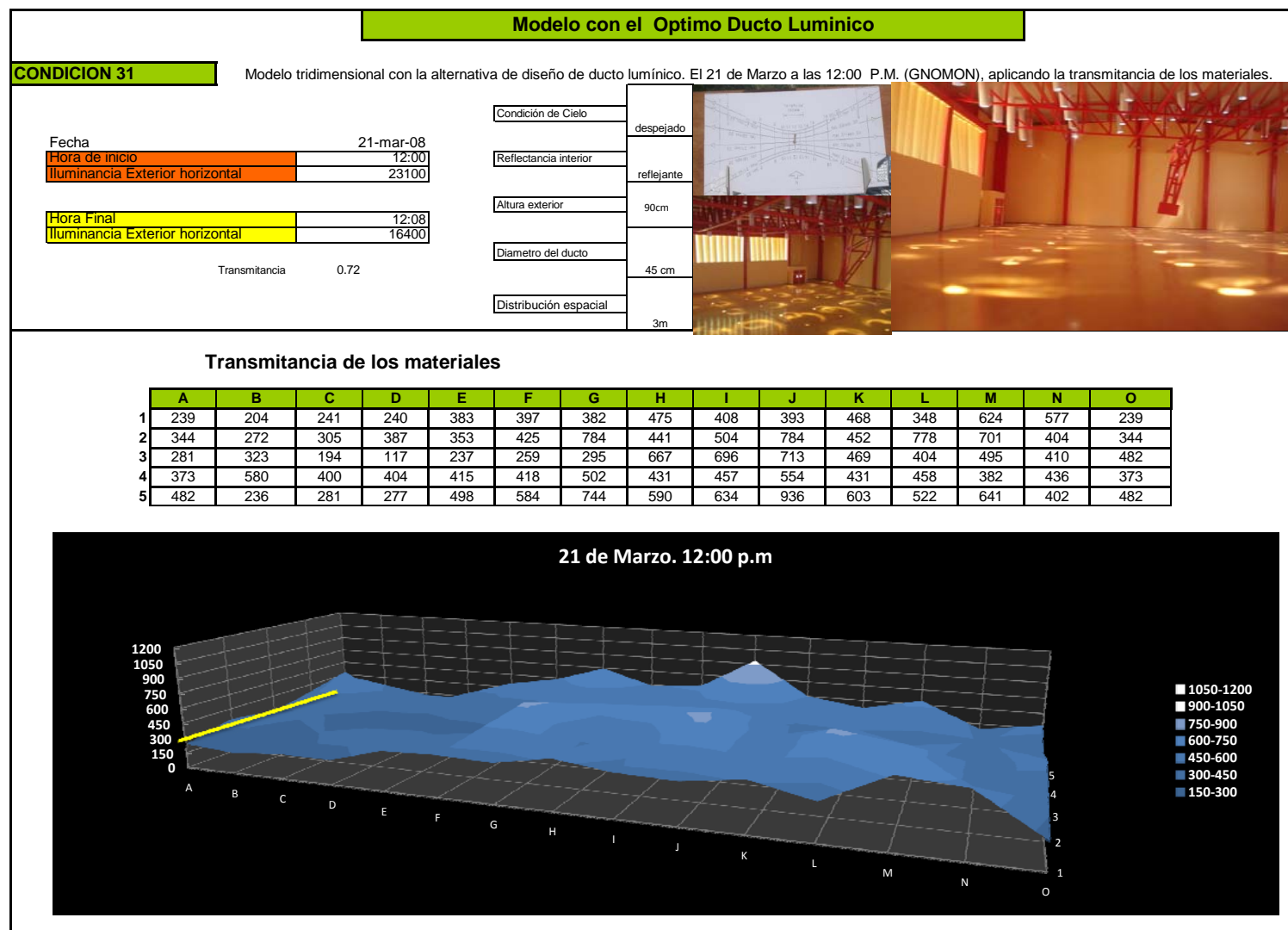


**Fig. 303** Condición 30 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.

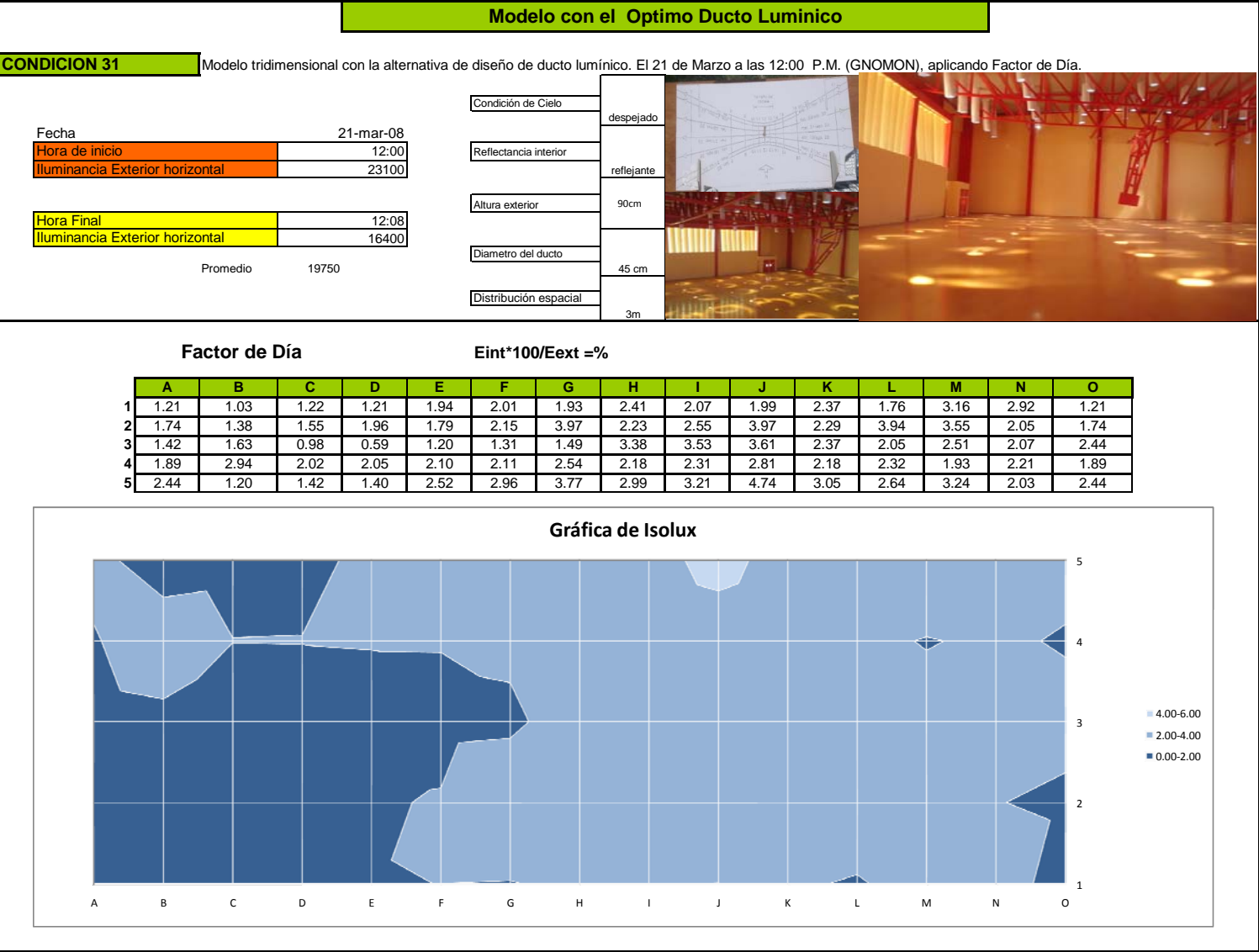


**Fig. 304** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

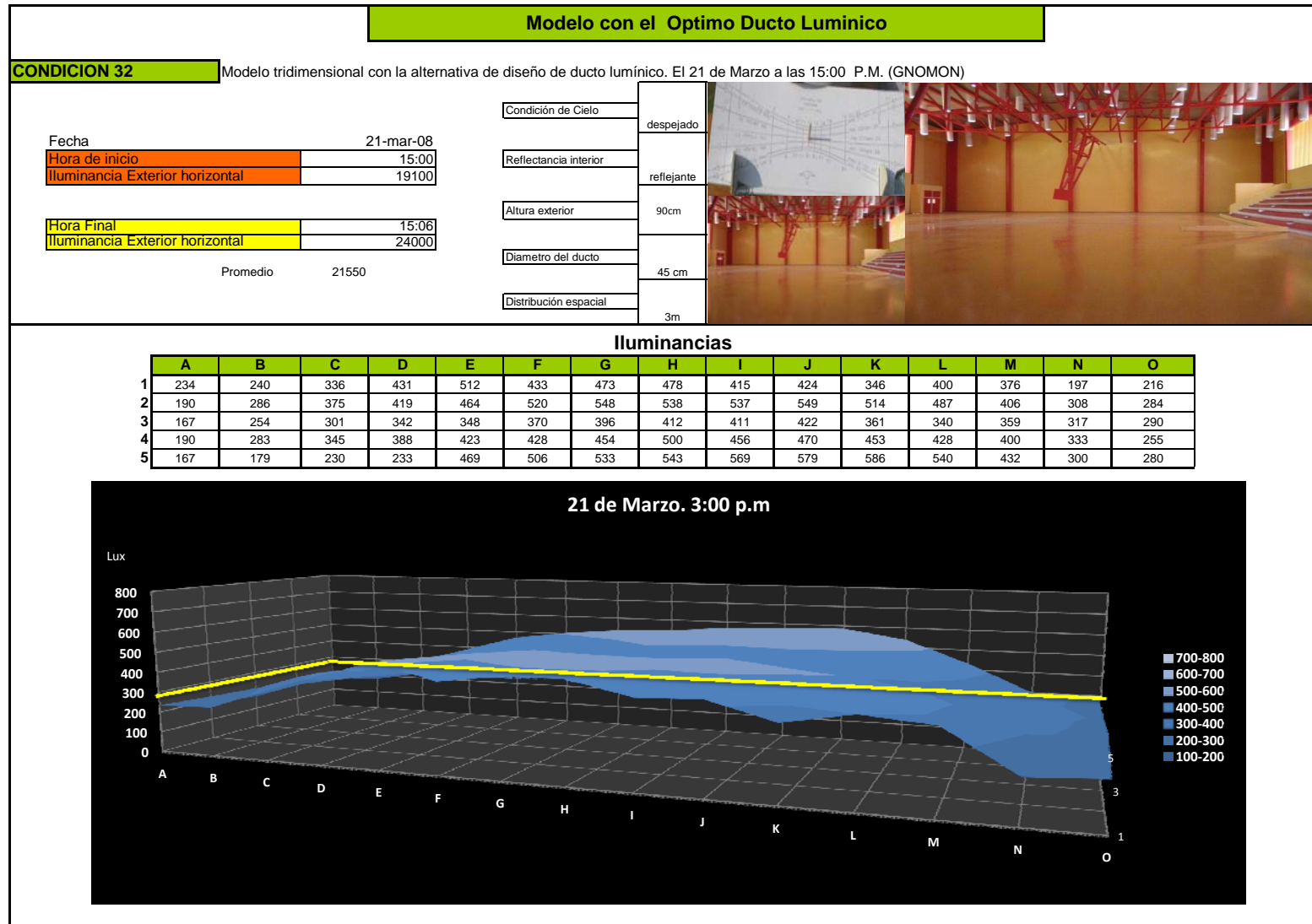




**Fig. 305** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 multiplicados dan como resultado una transmitancia del 72% de incidencia solar.



**Fig. 306** Condición 31 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.



**Fig. 307** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

## Modelo con el Optimo Ducto Luminico

### CONDICION 32

Modelo tridimensional con la alternativa de diseño de ducto lumínico. El 21 de Marzo a las 15:00 P.M. (GNOMON), aplicando la transmitancia de los materiales.

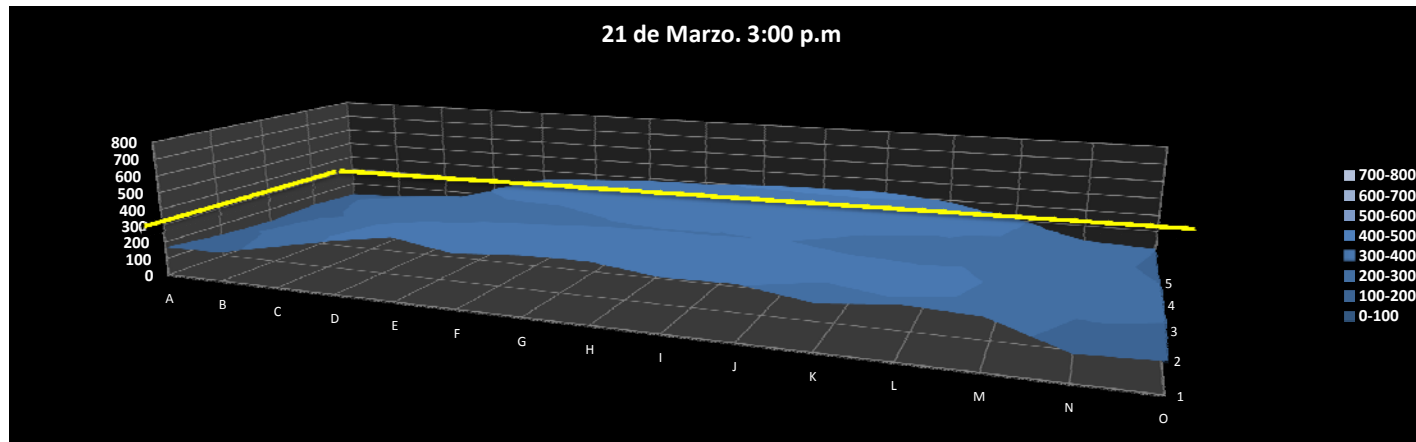
Fecha	21-mar-08
Hora de inicio	15:00
Illuminancia Exterior horizontal	19100
Hora Final	15:06
Illuminancia Exterior horizontal	24000
Transmitancia	0.72

Condición de Cielo	despejado
Reflectancia interior	reflejante
Altura exterior	90cm
Diámetro del ducto	45 cm
Distribución espacial	3m



### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	168	173	242	310	369	312	341	344	299	305	249	288	271	142	156
2	137	206	270	302	334	374	395	387	387	395	370	351	292	222	204
3	120	183	217	246	251	266	285	297	296	304	260	245	258	228	209
4	137	204	248	279	305	308	327	360	328	338	326	308	288	240	184
5	120	129	166	168	338	364	384	391	410	417	422	389	311	216	202



**Fig. 308** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta simulando acrílico de 0.80 y del difusor de 0.90 multiplicados dan como resultado una transmitancia del 72% de incidencia solar

### Modelo con el Optimo Ducto Luminico

**CONDICION 32** Modelo tridimensional con la alternativa de diseño de ducto lumínico. El 21 de Marzo a las 15:00 P.M. (GNOMON), aplicando Factor de Día

Fecha	21-mar-08
Hora de inicio	15:00
Illuminancia Exterior horizontal	19100
Hora Final	15:06
Illuminancia Exterior horizontal	24000
Promedio	21550

Condición de Cielo	despejado
Reflectancia interior	reflejante
Altura exterior	90cm
Diámetro del ducto	45 cm
Distribución espacial	3m

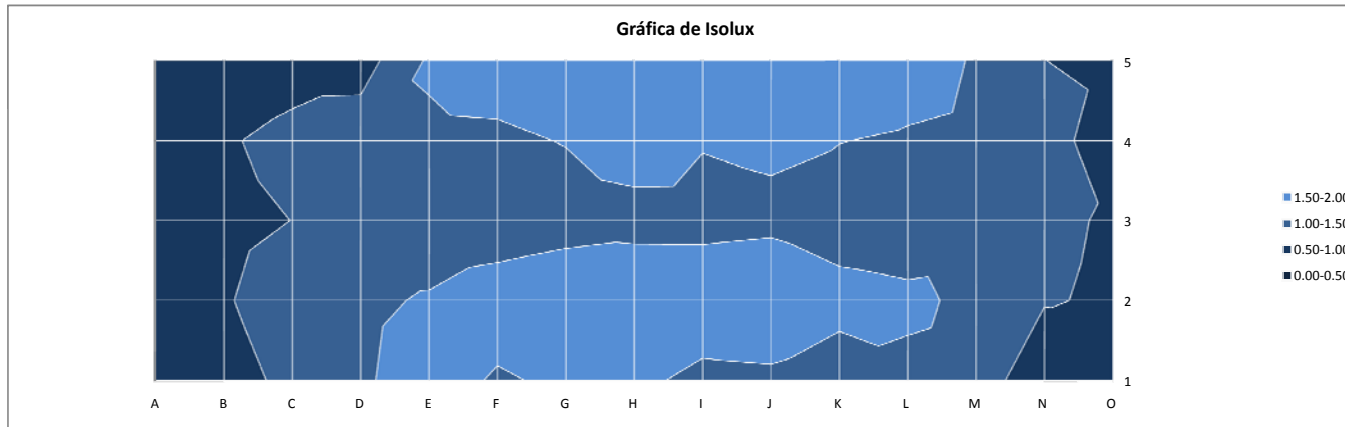


#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.78	0.80	1.12	1.44	1.71	1.45	1.58	1.60	1.39	1.42	1.16	1.34	1.26	0.66	0.72
2	0.63	0.96	1.25	1.40	1.55	1.74	1.83	1.80	1.79	1.83	1.72	1.63	1.36	1.03	0.95
3	0.56	0.85	1.01	1.14	1.16	1.24	1.32	1.38	1.37	1.41	1.21	1.14	1.20	1.06	0.97
4	0.63	0.95	1.15	1.30	1.41	1.43	1.52	1.67	1.52	1.57	1.51	1.43	1.34	1.11	0.85
5	0.56	0.60	0.77	0.78	1.57	1.69	1.78	1.81	1.90	1.93	1.96	1.80	1.44	1.00	0.94

#### Gráfica de Isolux



**Fig. 309** Condición 32 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 3:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.

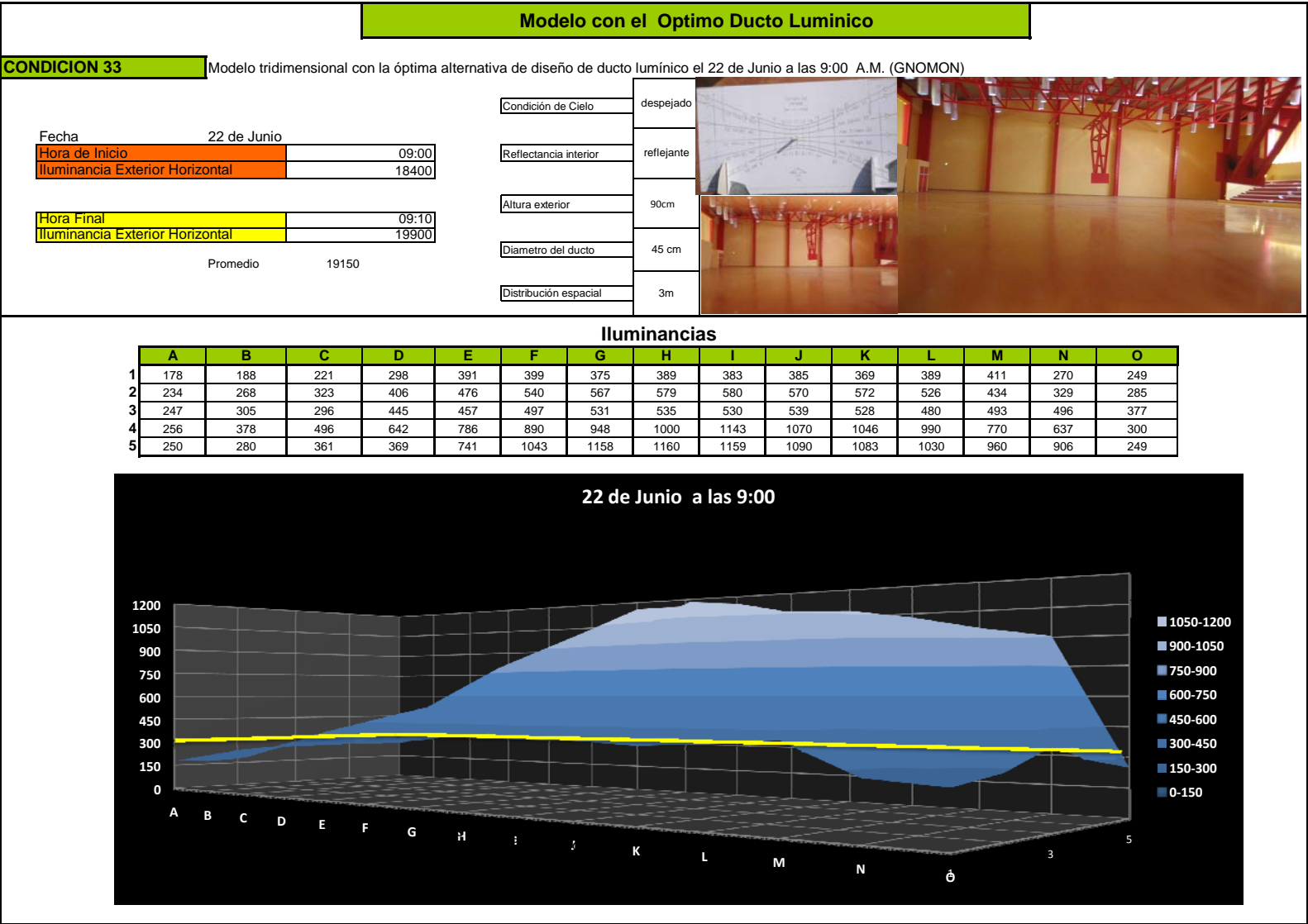
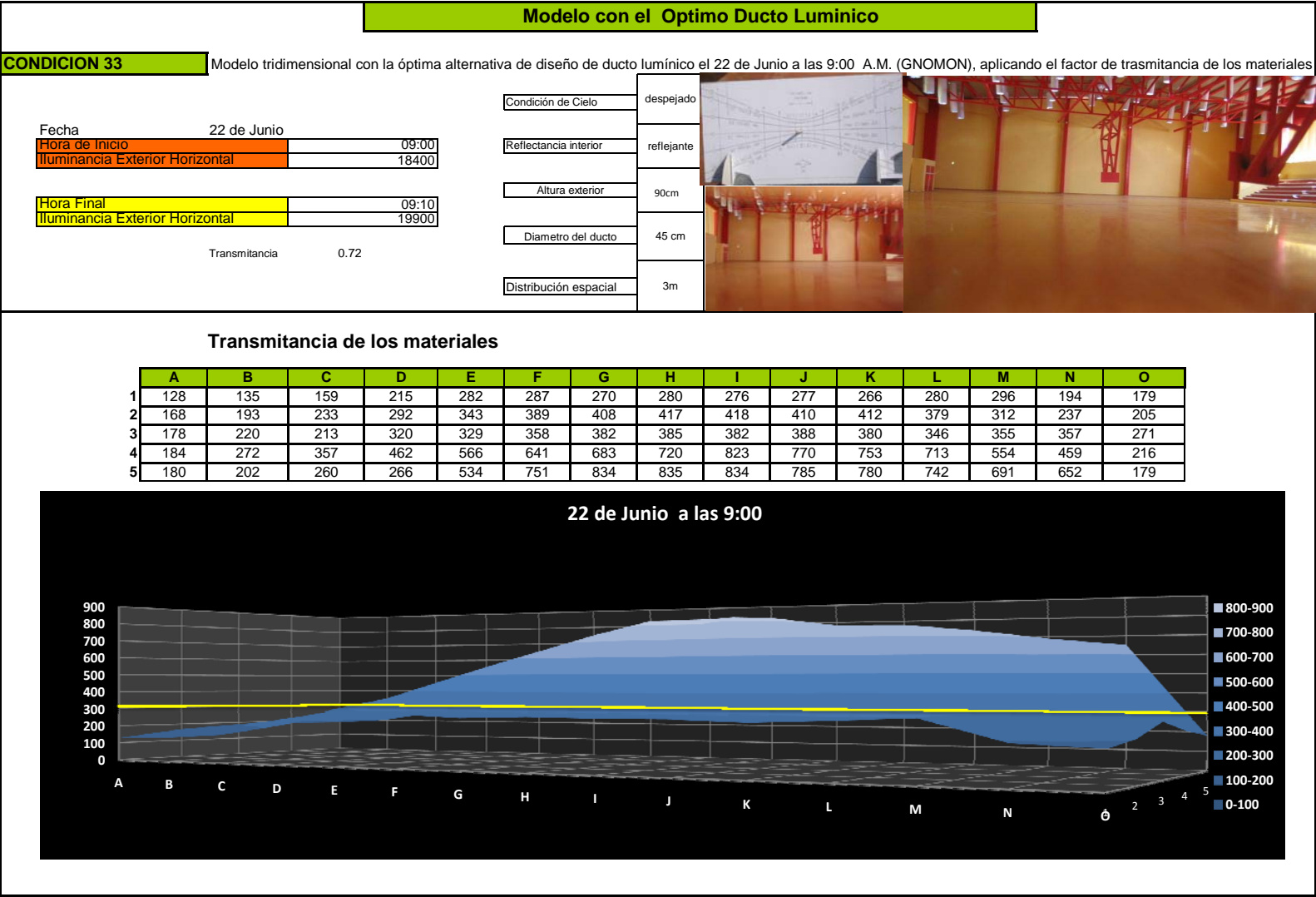


Fig. 310 Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.



### Modelo con el Optimo Ducto Luminico

**CONDICION 33** Modelo tridimensional con la óptima alternativa de diseño de ducto luminico el 22 de Junio a las 9:00 A.M. (GNOMON), aplicando factor de Día

Fecha	22 de Junio
Hora de Inicio	09:00
Illuminancia Exterior Horizontal	18400
Hora Final	09:10
Illuminancia Exterior Horizontal	19900
Promedio	19150

Condición de Cielo	despejado
Reflectancia interior	reflejante
Altura exterior	90cm
Diámetro del ducto	45 cm
Distribución espacial	3m

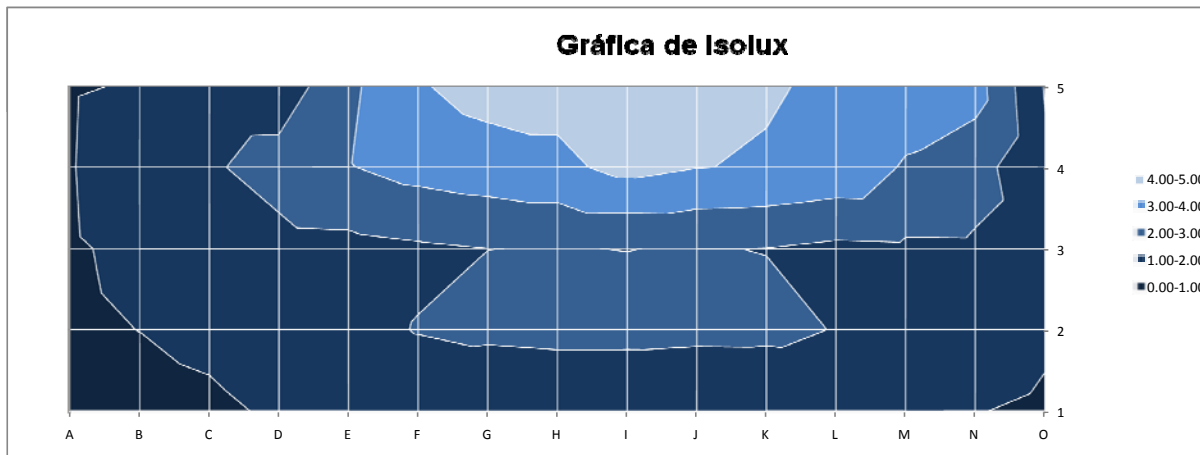


#### Factor de Día

$E_{int} \cdot 100 / E_{ext} = \%$

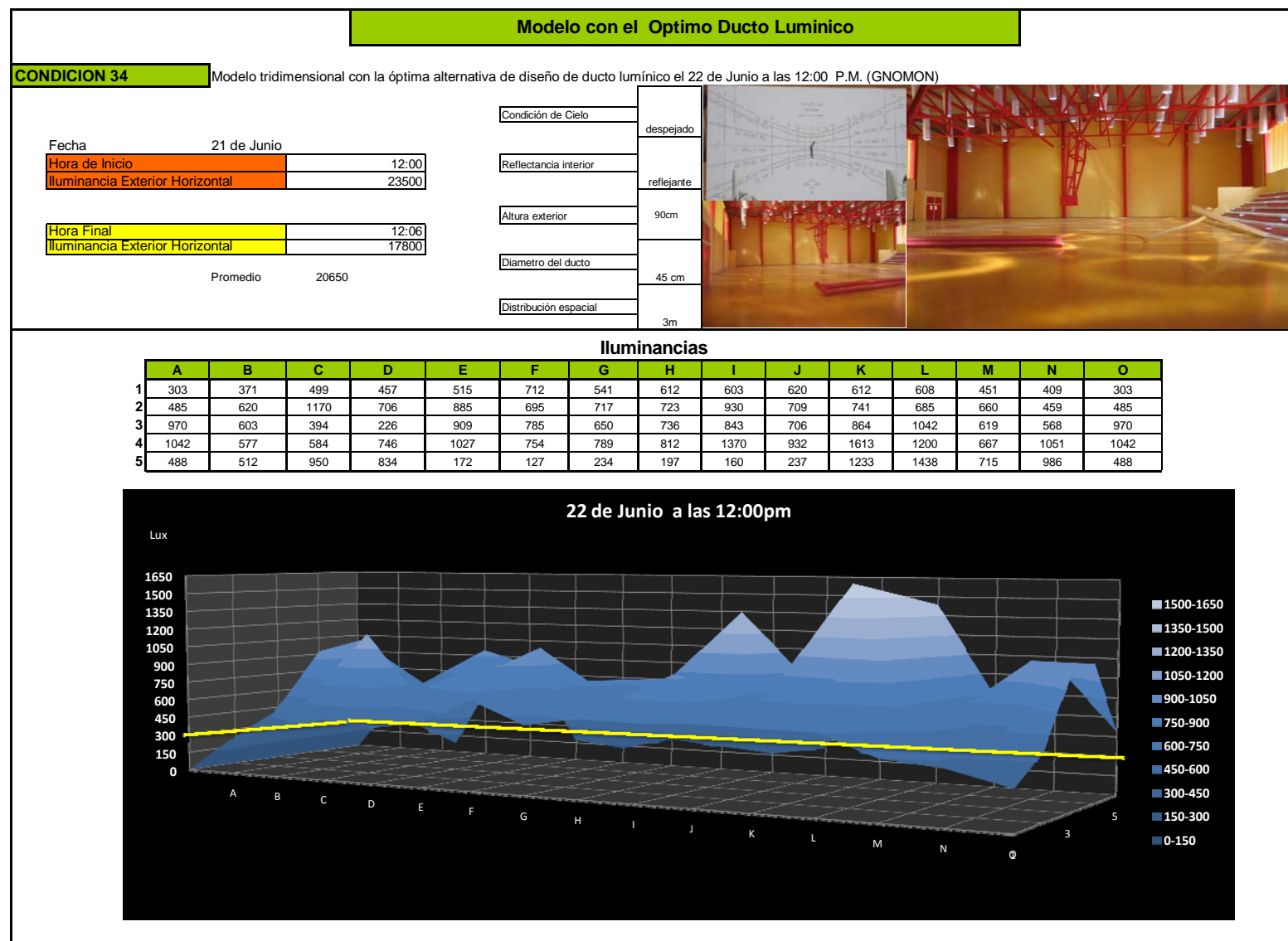
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.67	0.71	0.83	1.12	1.47	1.50	1.41	1.46	1.44	1.45	1.39	1.46	1.55	1.02	0.94
2	0.88	1.01	1.21	1.53	1.79	2.03	2.13	2.18	2.18	2.14	2.15	1.98	1.63	1.24	1.07
3	0.93	1.15	1.11	1.67	1.72	1.87	2.00	2.01	1.99	2.03	1.99	1.80	1.85	1.86	1.42
4	0.96	1.42	1.86	2.41	2.96	3.35	3.56	3.76	4.30	4.02	3.93	3.72	2.90	2.39	1.13
5	0.94	1.05	1.36	1.39	2.79	3.92	4.35	4.36	4.36	4.10	4.07	3.87	3.61	3.41	0.94

#### Gráfica de Isolux

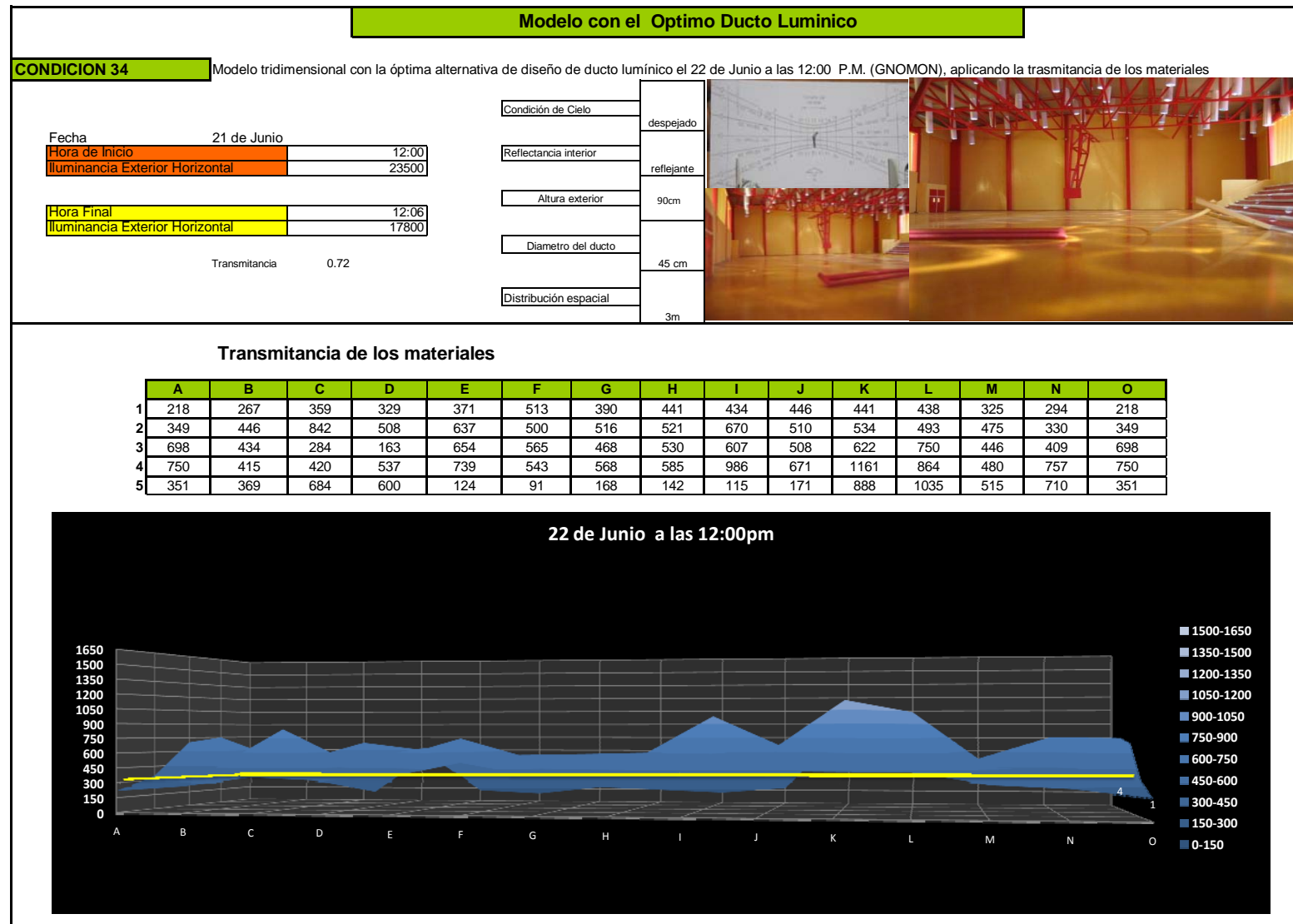


**Fig. 312** Condición 33 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Julio a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.

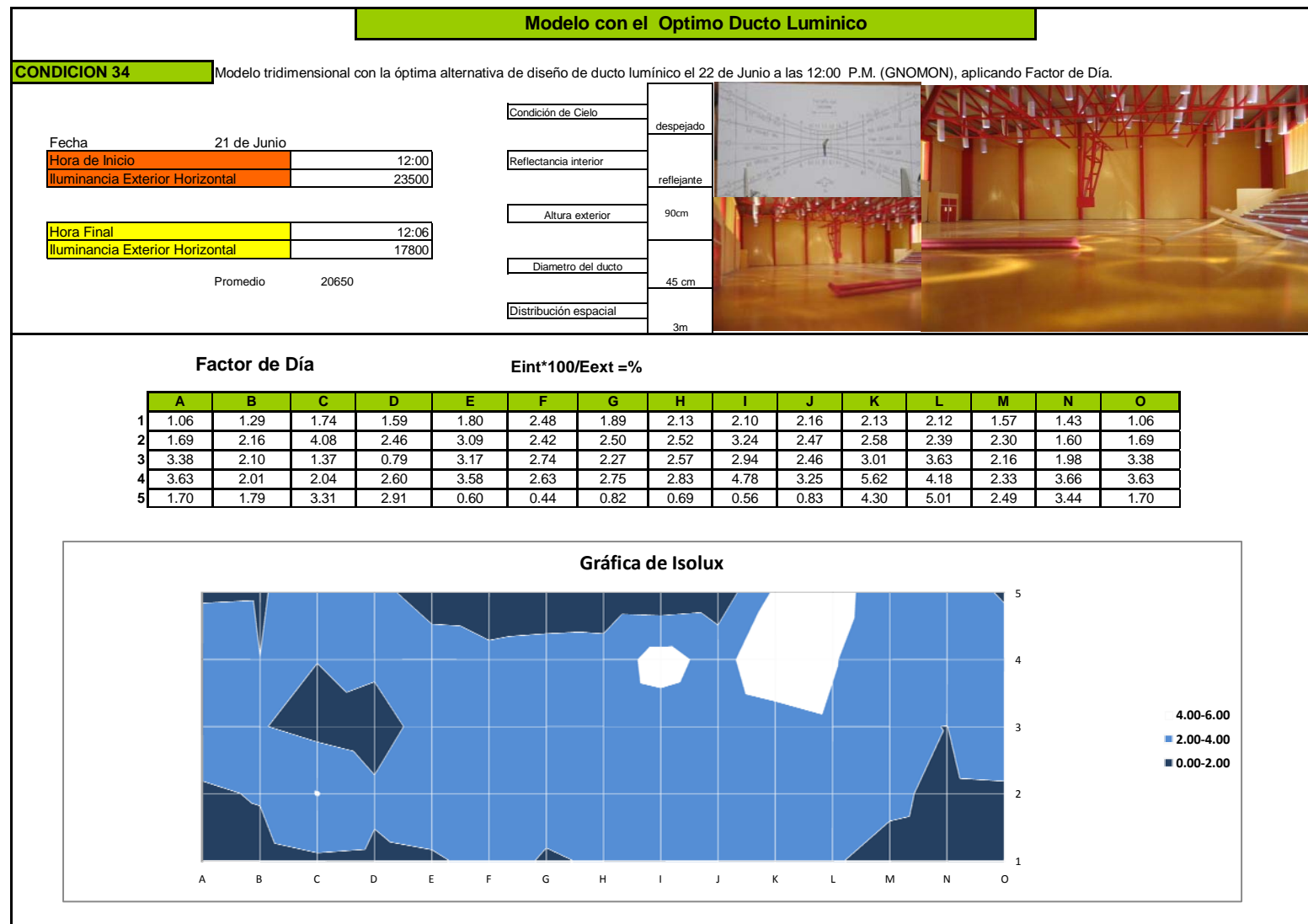




**Fig. 313** Condición 34 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Julio a las 12:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.



**Fig. 314** Condición 34 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 12:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 315** Condición 34 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 12:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.

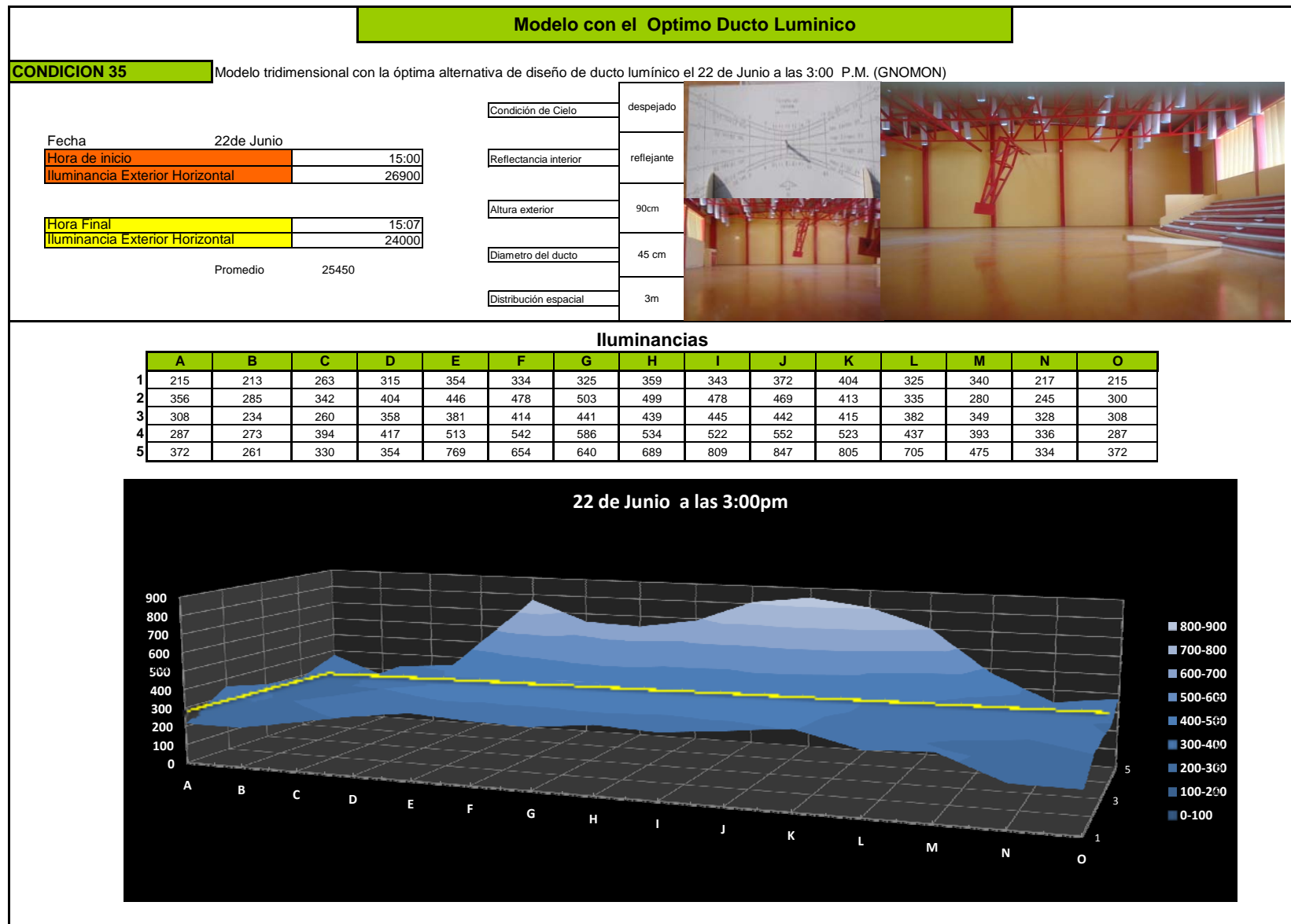
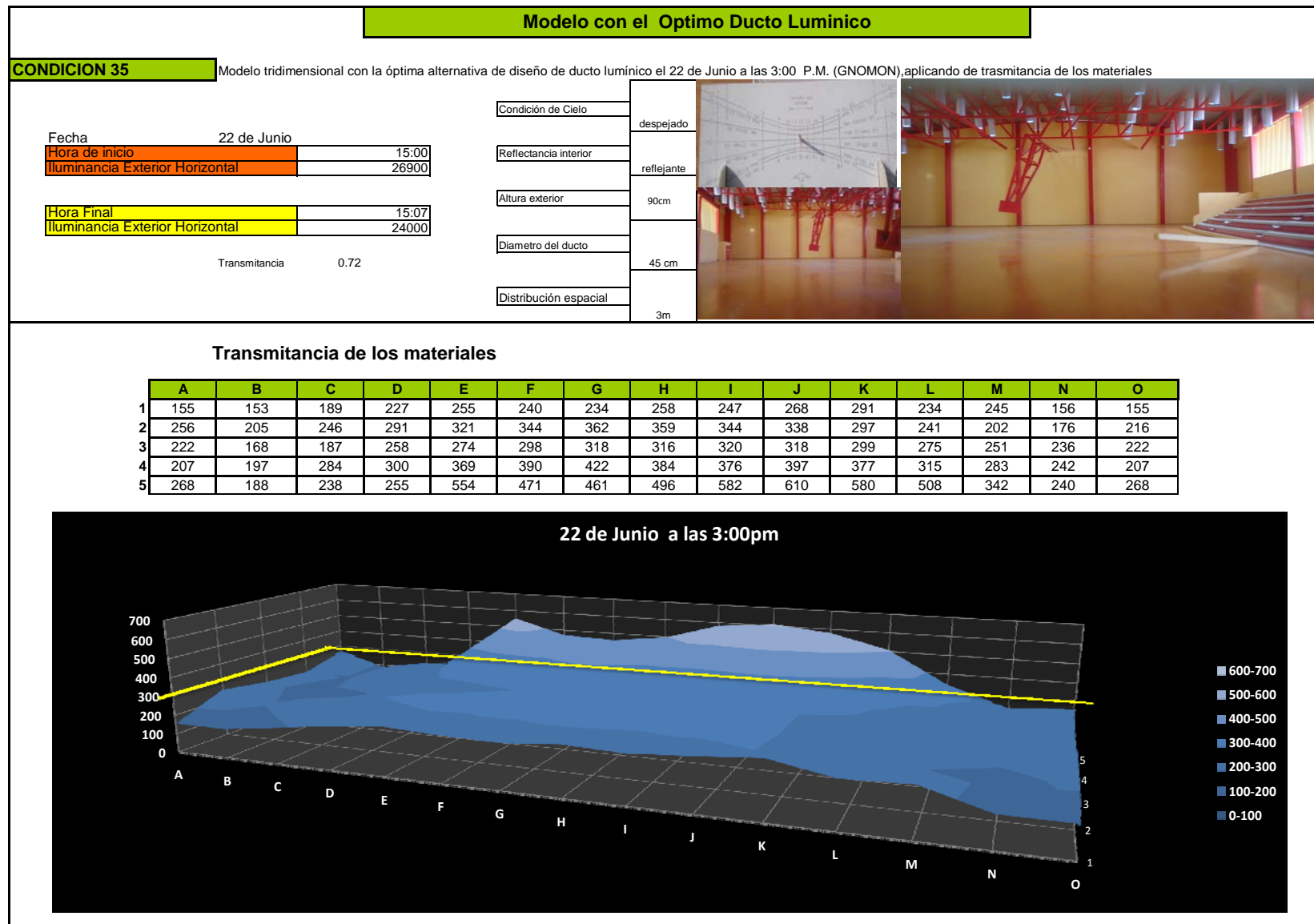
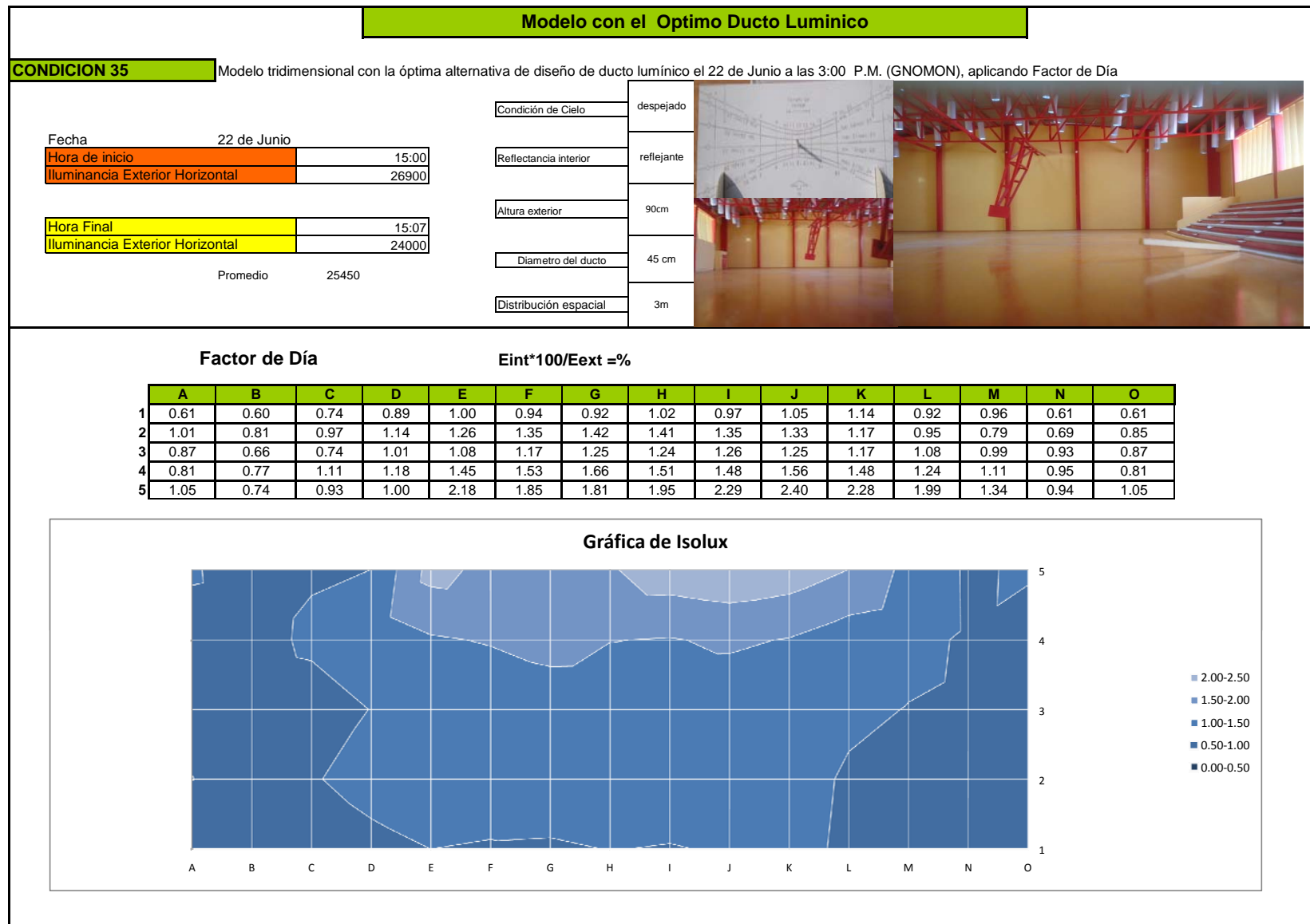


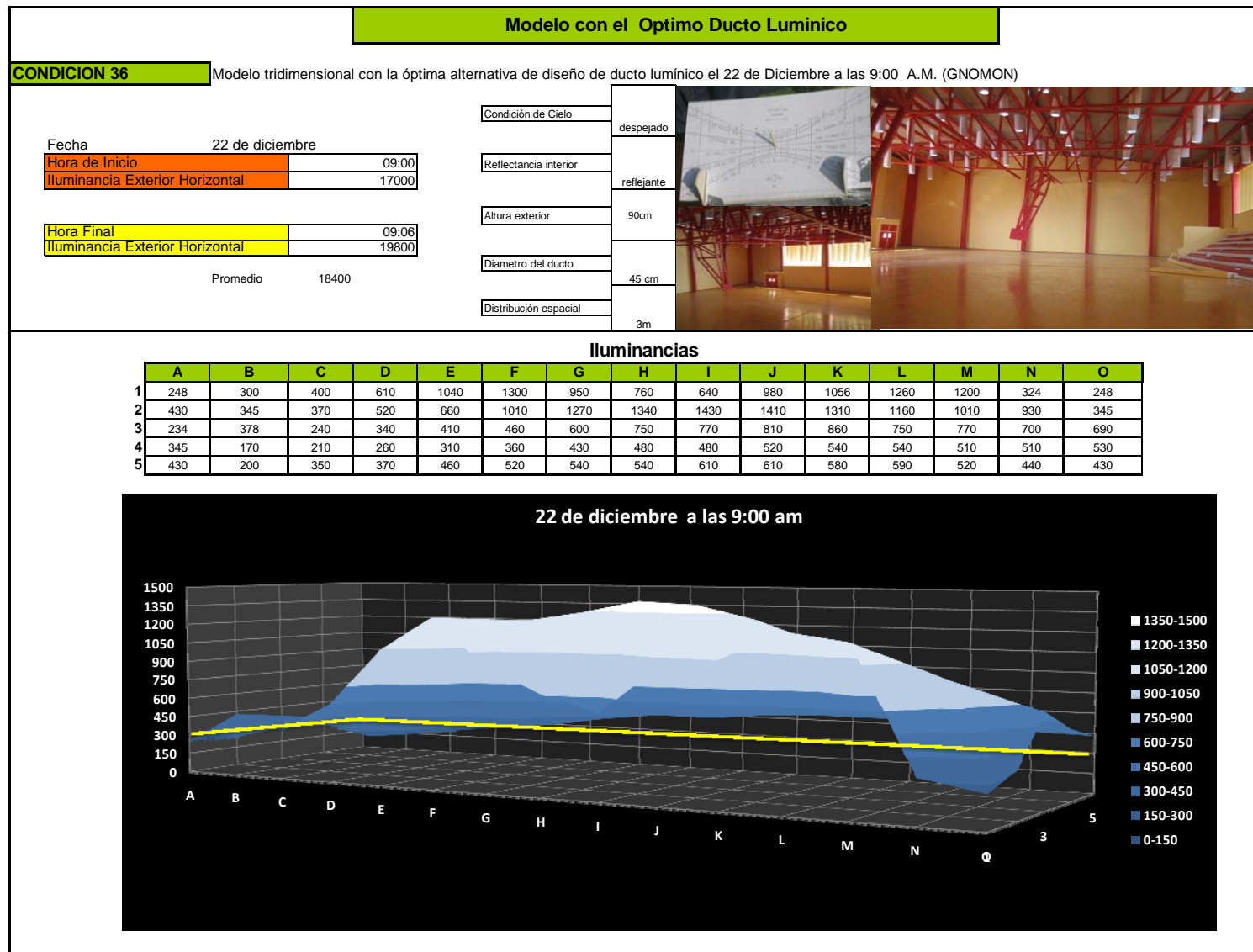
Fig. 316 Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.



**Fig. 317** Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmittancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 318** Condición 35 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Junio a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, con Factor de Día.



**Fig. 319** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.



## Modelo con Ductos Luminicos

### CONDICION 36

Modelo tridimensional con la óptima alternativa de diseño de ducto luminico el 22 de Diciembre a las 9:00 A.M. (GNOMON), aplicando transmitancia de los materiales

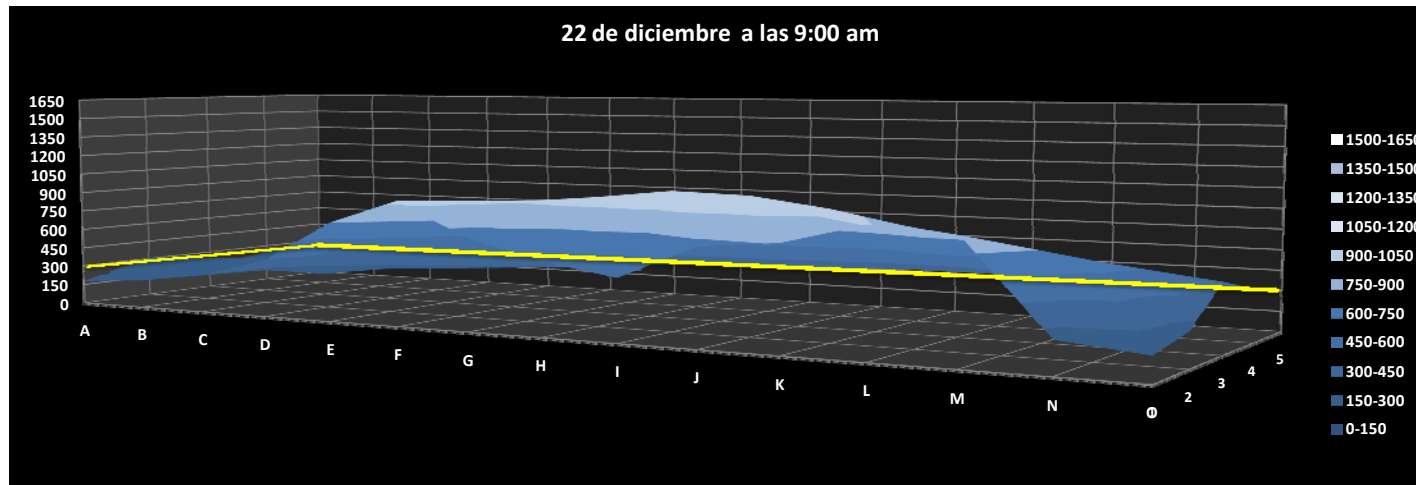
Fecha	22 de diciembre
Hora de Inicio	09:00
Illuminancia Exterior Horizontal	17000
Hora Final	09:06
Illuminancia Exterior Horizontal	19800
Transmitancia	0.72

Condición de Cielo	despejado
Reflectancia interior	reflejante
Altura exterior	90cm
Diámetro del ducto	45 cm
Distribución espacial	3m



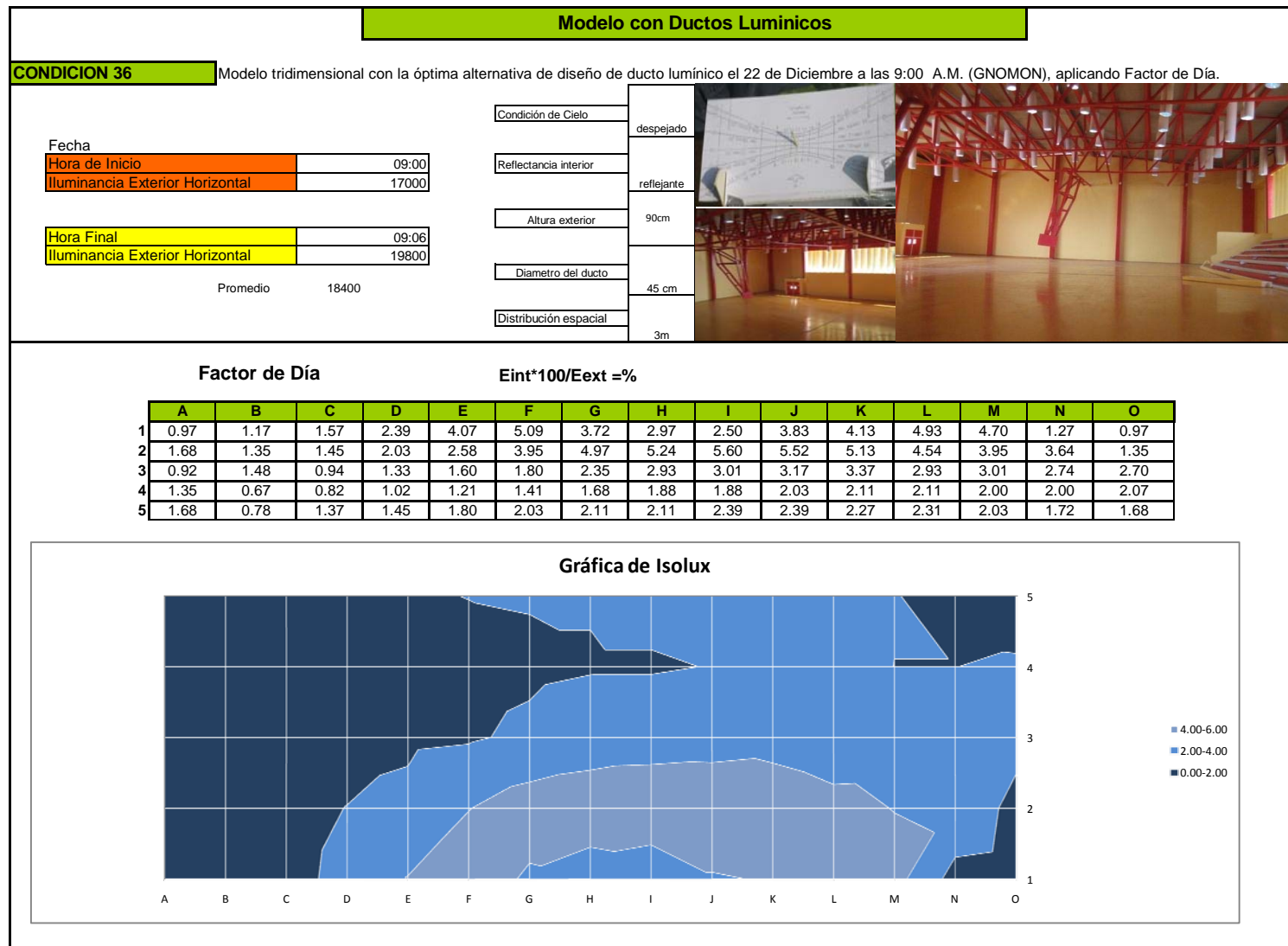
### Transmitancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	179	216	288	439	749	936	684	547	461	706	760	907	864	233	179
2	310	248	266	374	475	727	914	965	1030	1015	943	835	727	670	248
3	168	272	173	245	295	331	432	540	554	583	619	540	554	504	497
4	248	122	151	187	223	259	310	346	346	374	389	389	367	367	382
5	310	144	252	266	331	374	389	389	439	439	418	425	374	317	310

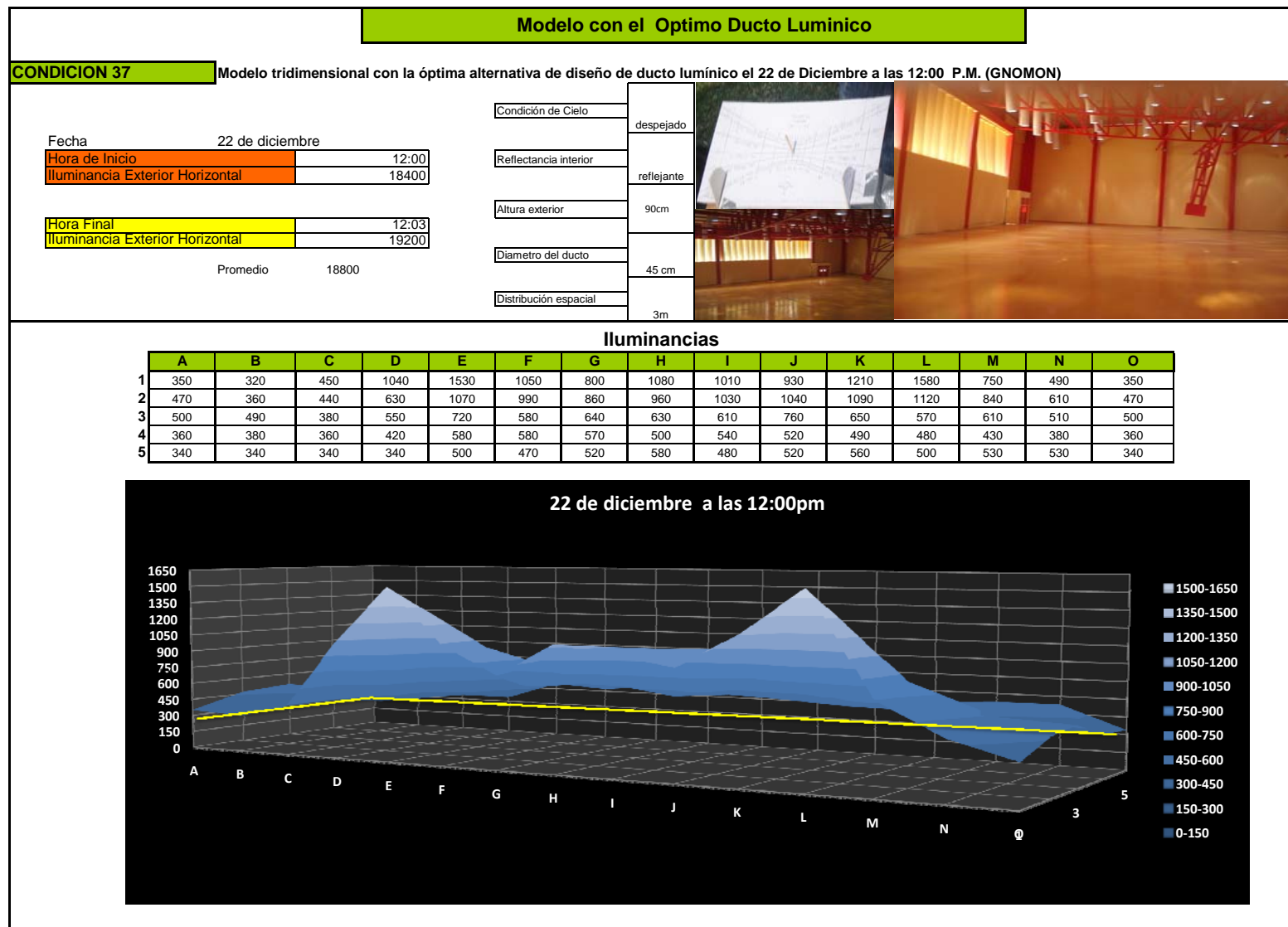


**Fig. 320** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de transmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.

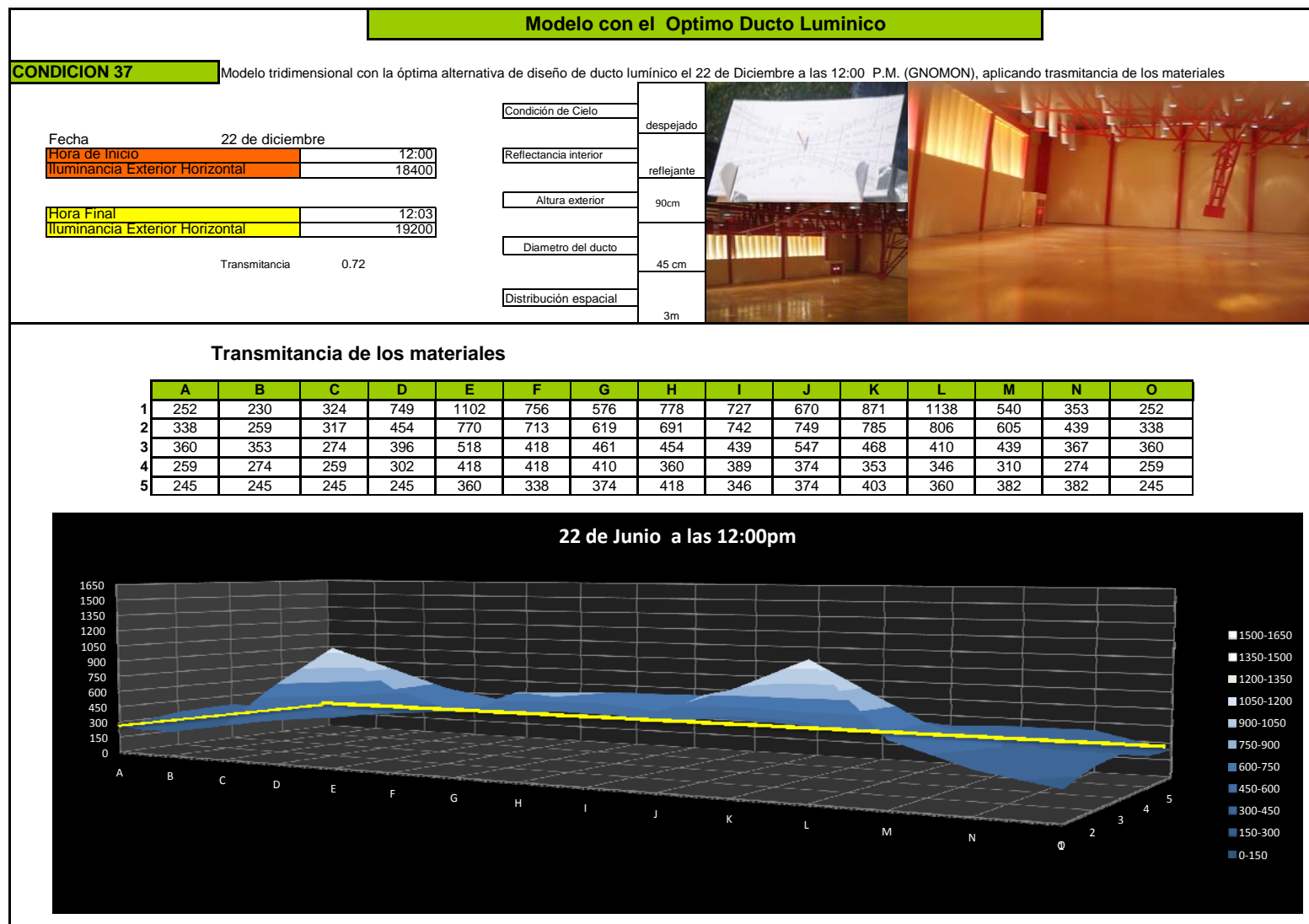




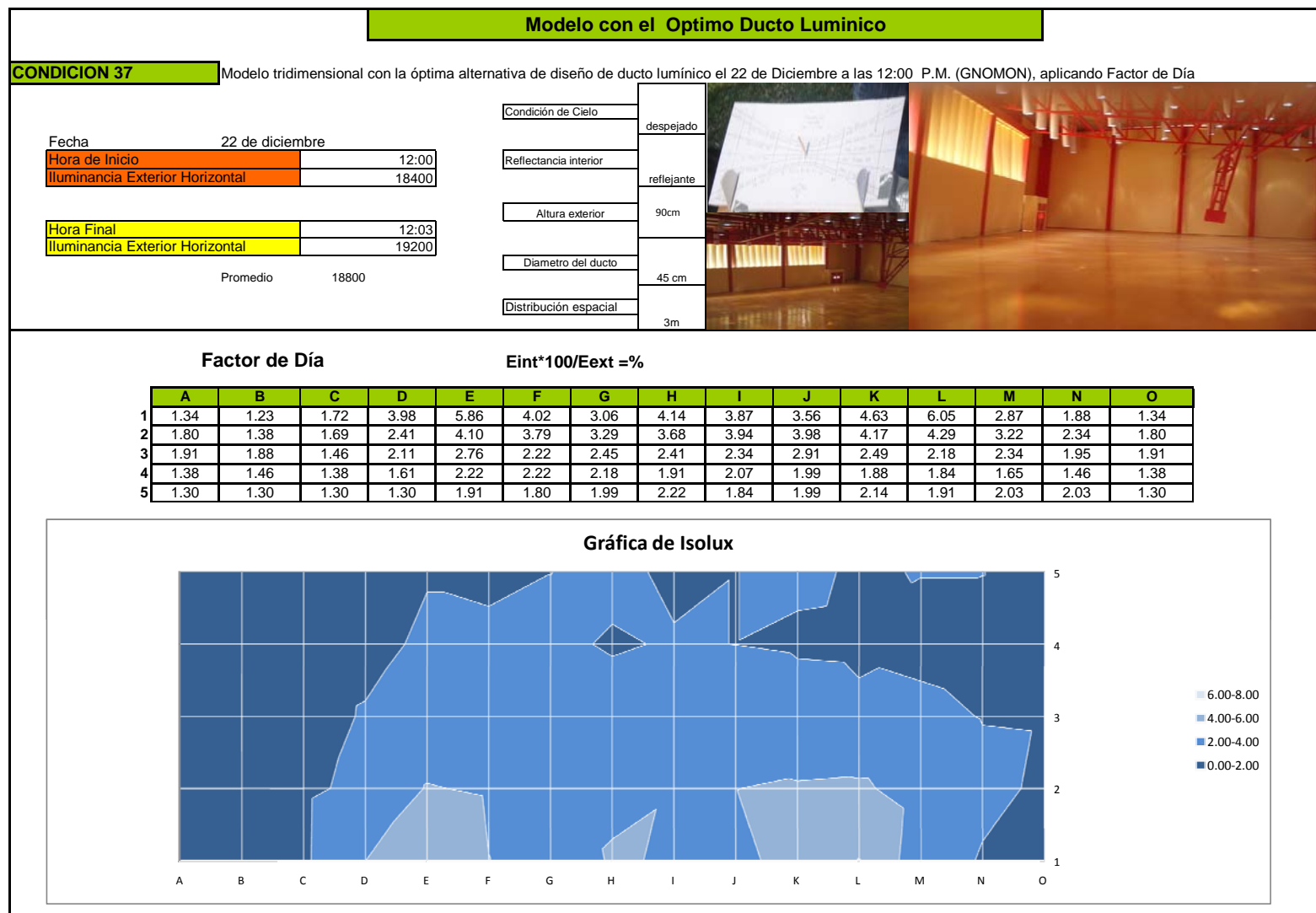
**Fig. 321** Condición 36 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 9:00 A.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.



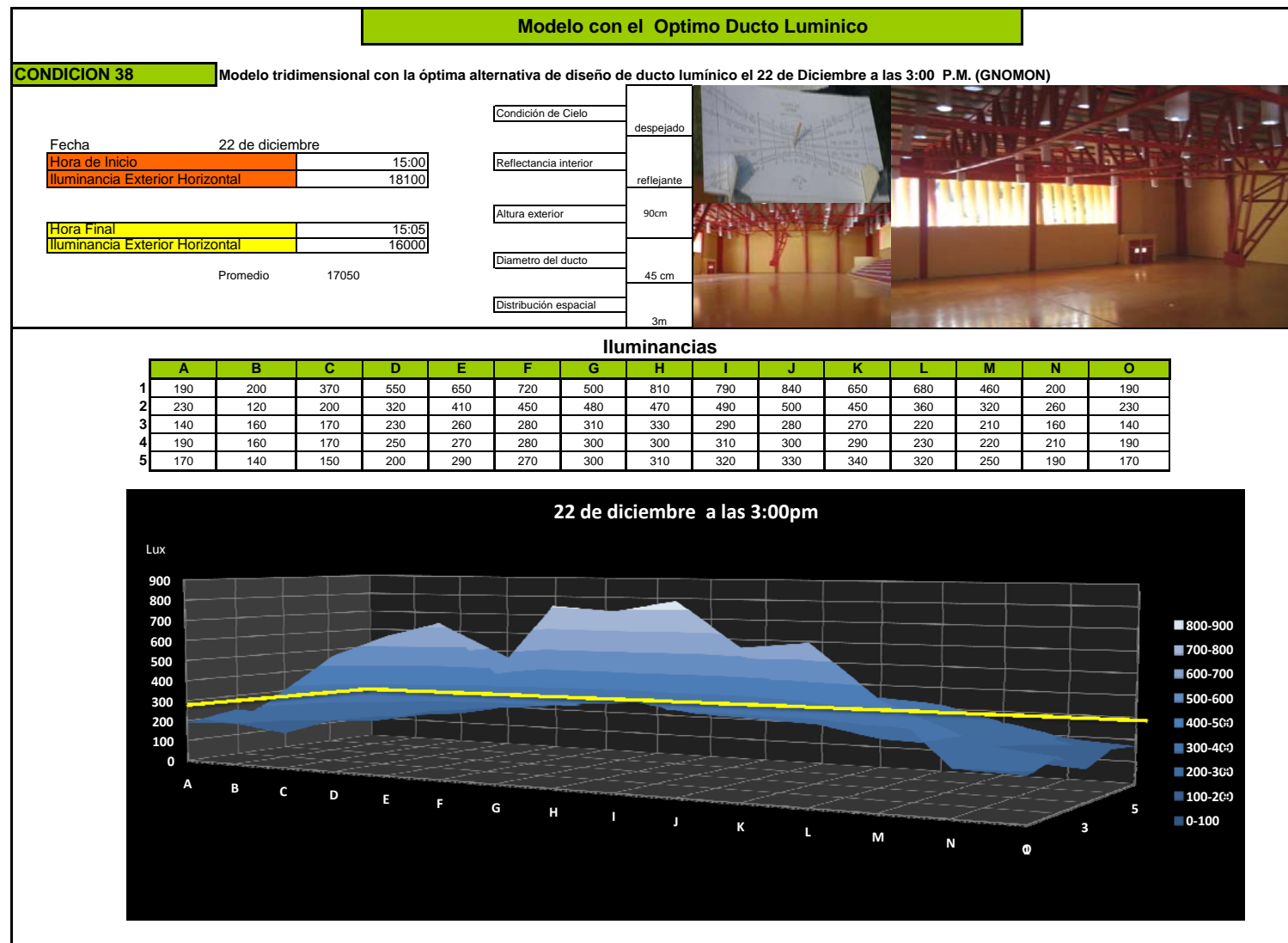
**Fig. 322** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 12:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.



**Fig. 323** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 21 de Marzo a las 12:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmitancia de los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 324** Condición 37 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 12:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.



**Fig. 325** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P. M., en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m.

## Modelo con el Optimo Ducto Luminico

### CONDICION 38

Modelo tridimensional con la óptima alternativa de diseño de ducto luminico el 22 de Diciembre a las 3:00 P.M. (GNOMON), aplicando trasmittancia de los materiales

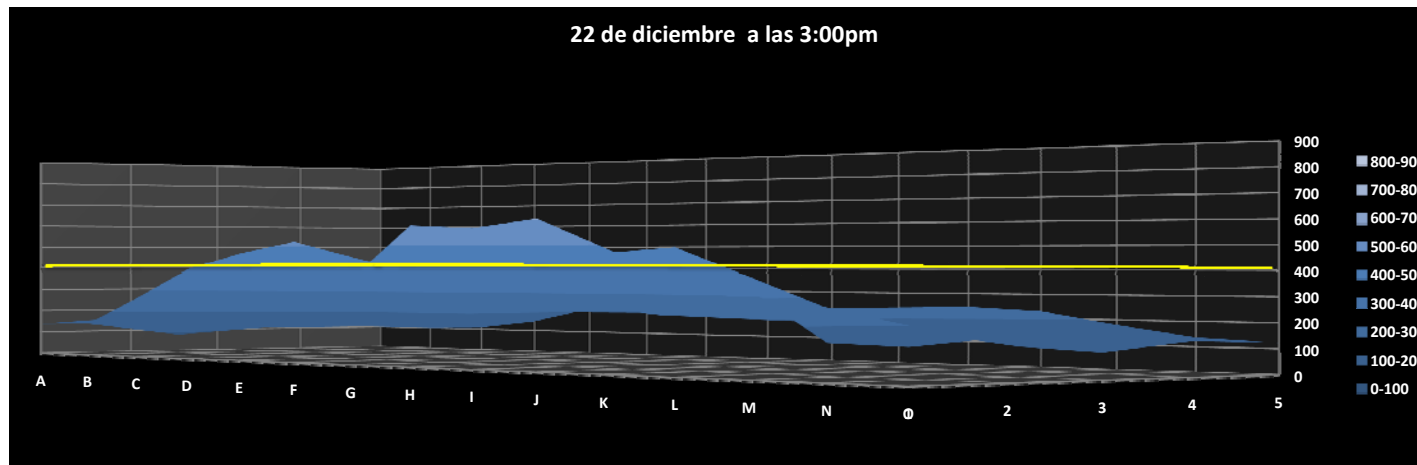
Fecha	22 de diciembre
Hora de Inicio	15:00
Illuminancia Exterior Horizontal	18100
Hora Final	15:05
Illuminancia Exterior Horizontal	16000
Transmittancia	0.72

Condición de Cielo	despejado
Reflectancia interior	reflejante
Altura exterior	90cm
Diámetro del ducto	45 cm
Distribución espacial	3m

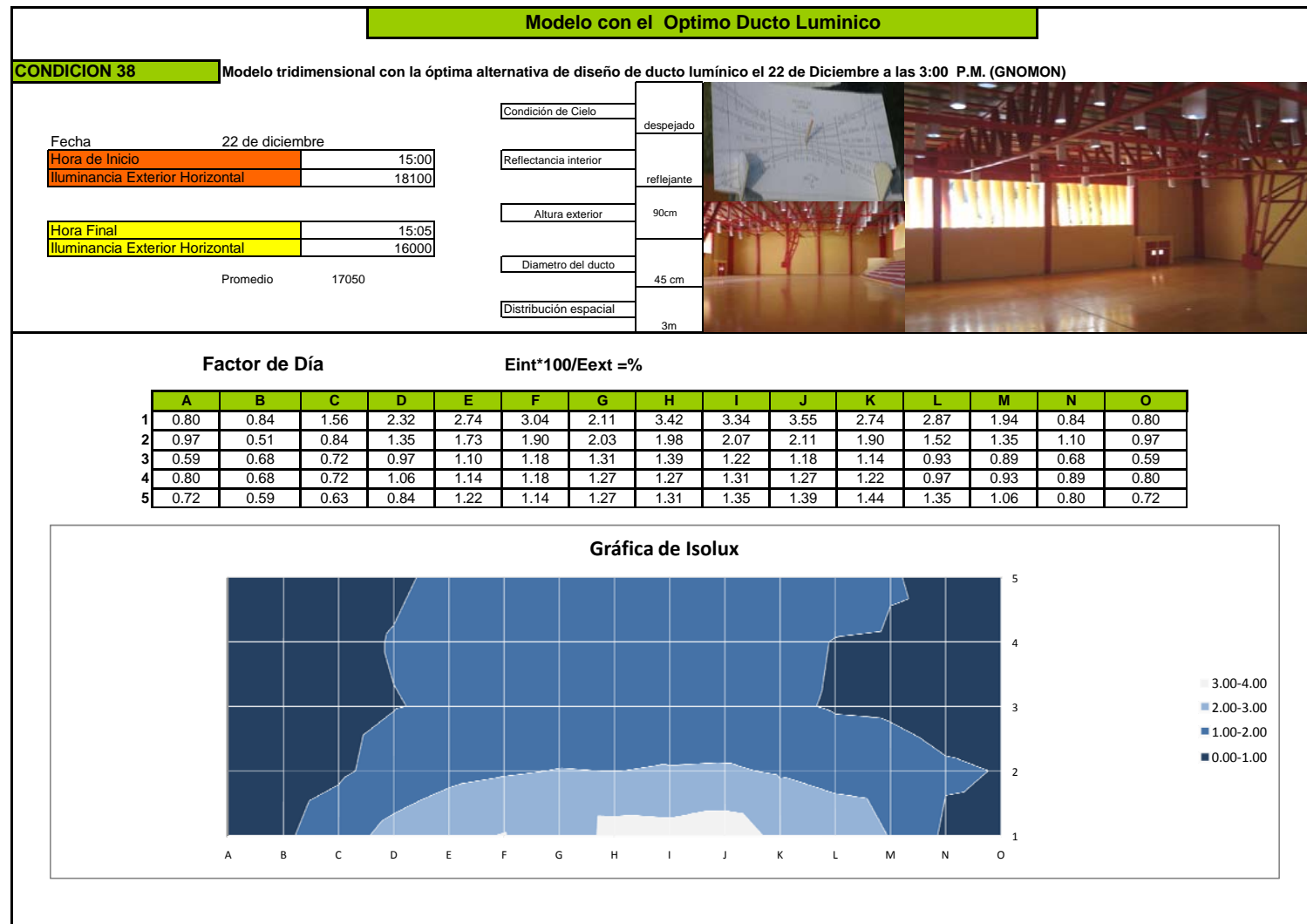


### Transmittancia de los materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	137	144	266	396	468	518	360	583	569	605	468	490	331	144	137
2	166	86	144	230	295	324	346	338	353	360	324	259	230	187	166
3	101	115	122	166	187	202	223	238	209	202	194	158	151	115	101
4	137	115	122	180	194	202	216	216	223	216	209	166	158	151	137
5	122	101	108	144	209	194	216	223	230	238	245	230	180	137	122



**Fig. 326** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P.M. en condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m, aplicando el coeficiente de trasmittancia del los materiales de la cubierta y del difusor del ducto.



**Fig. 327** Condición 38 Modelo Tridimensional, con el reloj solar el 22 de Diciembre a las 3:00 P.M. En condiciones de cielo despejado con reflectancia al interior especular, con una altura exterior de 90 cm, con un diámetro de 45 cm, con una distribución espacial de 3 m con Factor de Día.



### 8.9. Comportamiento Lumínico de los Ductos Lumínicos con Rayo Láser.

El comportamiento lumínico de los ductos se determinó a partir de un proceso de experimentación con rayo laser comprobando el comportamiento lumínico con el material especular. Se realizó en el siguiente orden:

1. Se llevó el modelo tridimensional a un cuarto oscuro.
2. Se inyectó el humo al modelo tridimensional en la parte interior.
3. Se proyectó con el laser en diferentes ductos para observar su comportamiento.
4. Se realizó una secuencia fotográfica del comportamiento lumínico de los ductos.

Se llevó, el modelo tridimensional al cuarto oscuro y se inyectó humo lo que permitió que se viera el comportamiento del rayo laser en las múltiples inter-reflexiones producidas por el material especular, al interior dentro de los ductos (**Fig. 343 y 344**).



**Fig. 343** Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.



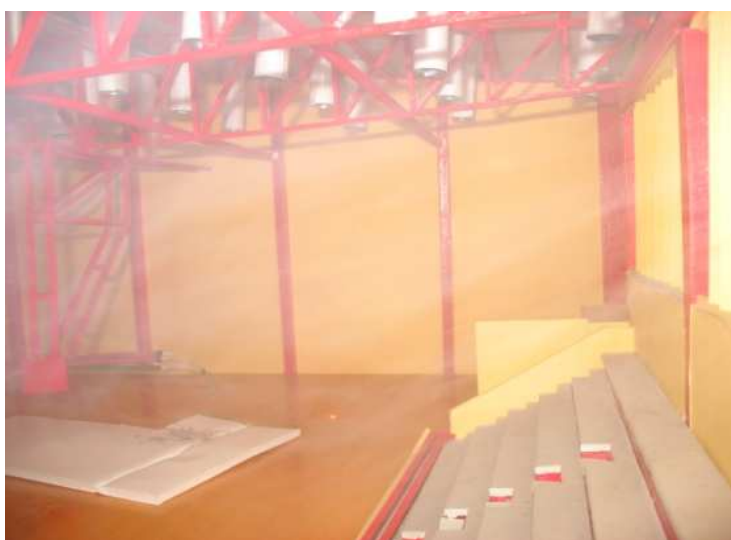
**Fig. 344** Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro .



Se marco el fenómeno de iluminación del área que se requiere mediante la determinación de los ángulos de incidencia de los ductos al interior del gimnasio. Las alternativas de diseño del ducto utilizado fueron: Material al interior especular, diámetro de 45cm, altura al exterior del techo de 90 cm y una distribución espacial de 3 metros (Fig. 345 y 346).



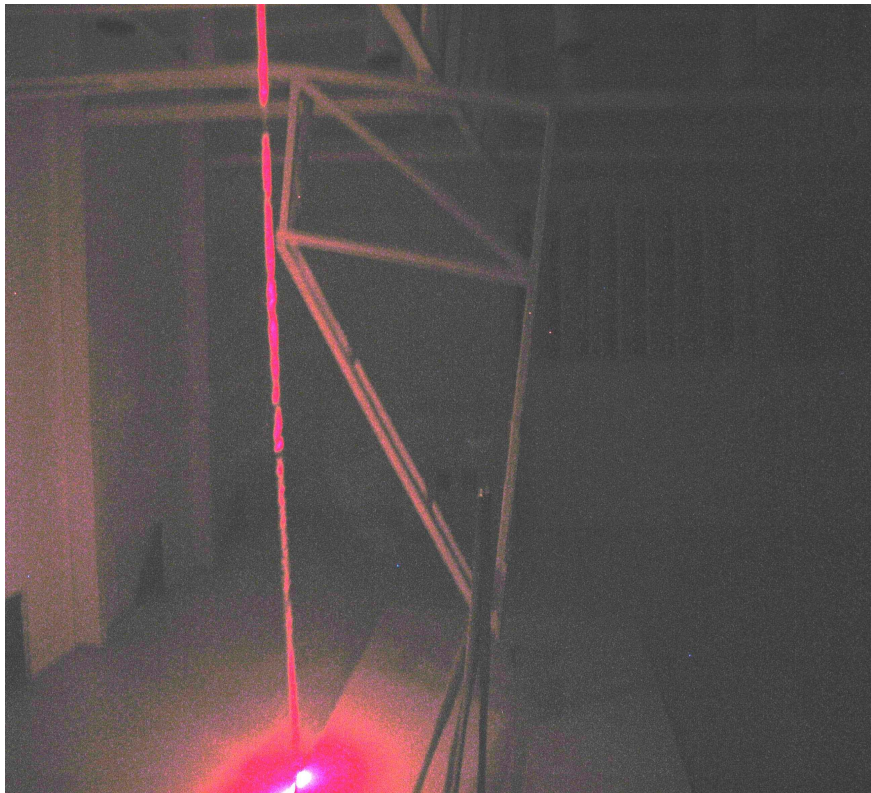
**Fig. 345** Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.



**Fig. 346** Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.

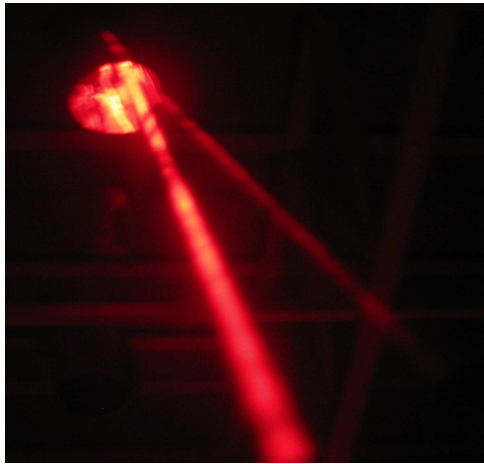
Se utilizó un sistema de rayo láser como herramienta para comprobar la direccionalidad de la luz sobre las diferentes superficies y su efecto de múltiples inter-reflexiones

Se colocó el rayo laser en la parte superior del ducto lumínico para ver la trayectoria de luz y su incidencia al interior del espacio del modelo tridimensional (Fig. 347).

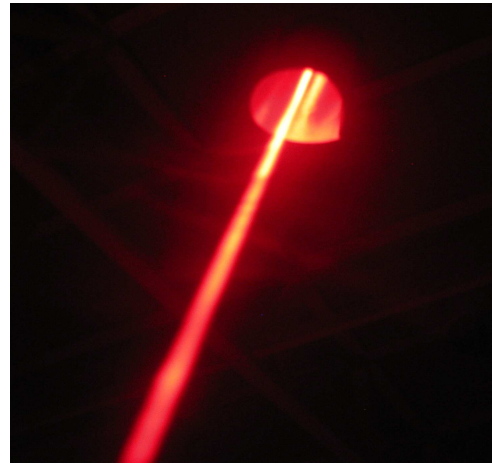


**Fig. 347** Comportamiento de los ductos con humo en el cuarto oscuro al interior del modelo tridimensional.

El comportamiento de los rayos lumínicos se observó tomando fotografías del interior de modelo tridimensional hacia la salida de luz emitida por el ducto, donde se comprobó la direccionalidad de la luz (Fig.348y 349).

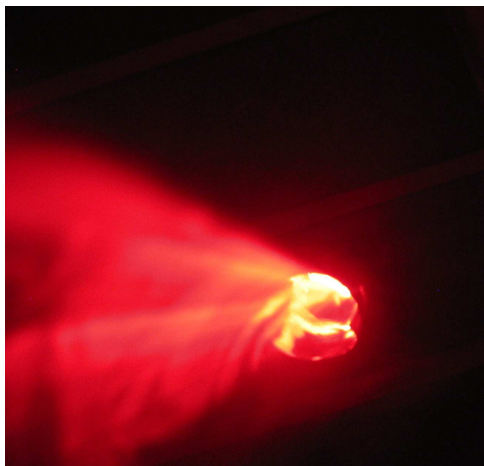


**Fig. 348** Proyección del rayo de luz al interior de modelo tridimensional al interior.

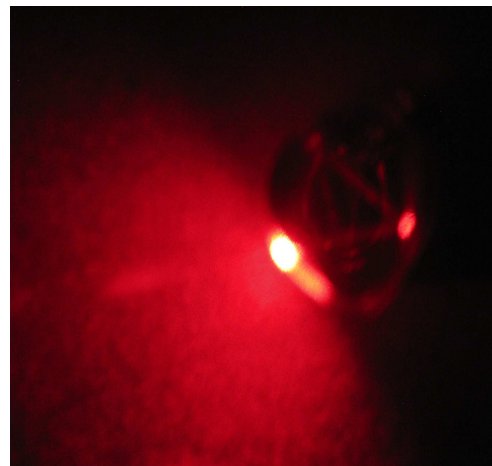


**Fig. 349** Proyección del rayo de luz al interior de modelo tridimensional al interior.

Se captaron las múltiples inter reflexiones que tiene el rayo al interior del ducto con material de alta reflectancia provocando el fenómeno de captación de luz al interior del espacio, mediante la distribución de uniformidad de la luz. (Fig. 350 y 351).

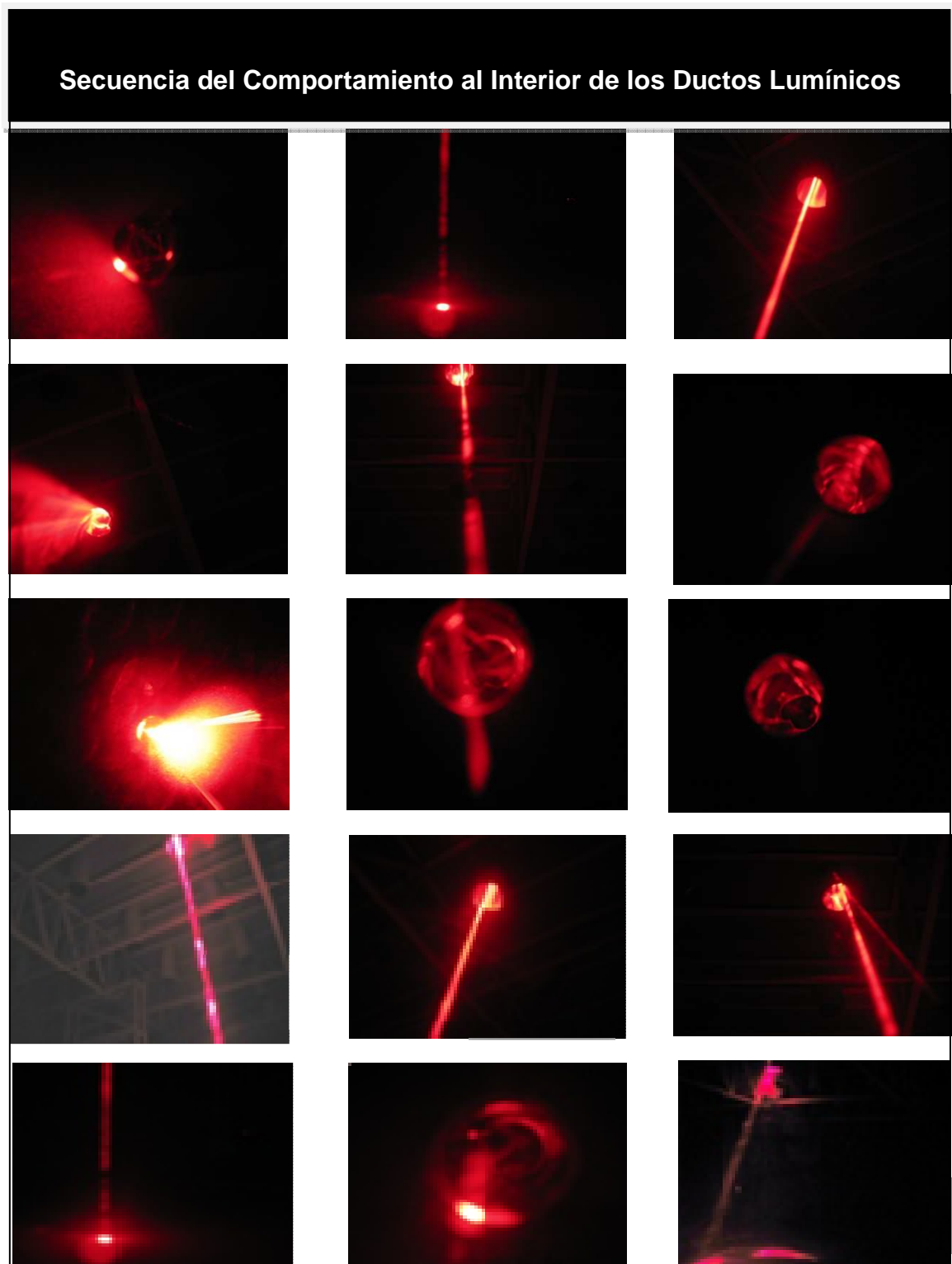


**Fig. 350** Distribución de la luz .



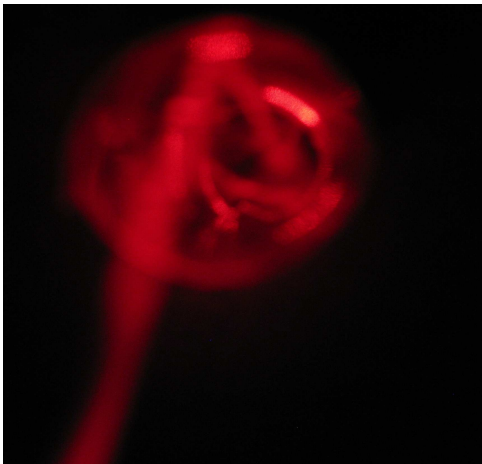
**Fig. 351** Proyección de luz.

Observación del comportamiento de la secuencia del comportamiento al interior de los Ductos lumínicos (Fig.352).

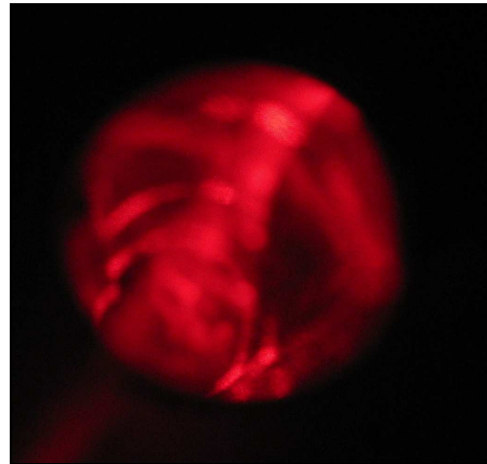


**Fig. 352** Secuencia del comportamiento lumínico al interior del ducto con la aplicación de un rayo láser

Se observa el comportamiento del rayo al interior del ducto, esto permitió comprobar el comportamiento de la incidencia de los rayos solares a través del paso de los ductos, como se da el direccionamiento de los rayos a través de las múltiples inter-reflexiones que tiene al interior de una manera muy precisa (**Figs. 353 y 354**).



**Fig. 353** Comportamiento del haz de luz al interior del ducto.



**Fig. 354** Múltiples interrelaciones al interior del ducto lumínico.

La observación del comportamiento lumínico de los ductos, permitió tener un punto de referencia del comportamiento lumínico y las múltiples inter-reflexiones que tienen los rayos solares para provocar el fenómeno de iluminación natural al interior del espacio con luz solar, durante el día. Se marcó la trayectoria del haz de luz, para observar el efecto de lumínico de los ductos lumínicos al interior. La evaluación con el rayo laser permitió la observación del comportamiento lumínico simulando la captación de los rayos solares y el efecto producido al interior del espacio. Ver la secuencia del comportamiento al interior de los ductos lumínicos (**Fig. 354**).



# CAPÍTULO IX

## CONCLUSIONES



## **CAPÍTULO IX**

### **CONCLUSIONES**

Los edificios en la actualidad deben ofrecer condiciones de confort lumínico, para sus ocupantes, aprovechando al máximo la luz natural e integrando sistemas de energía eléctrica con alta eficiencia energética, y obtener un ahorro de energía significativo. En el diseño y construcción de la mayoría de los edificios se ha ignorado el potencial de la luz natural. Se ha abusado del uso de sistemas de alumbrado artificial, situación que ha provocado un desperdicio innecesario de energía y un severo daño al medio ambiente, debido a la emisión de contaminantes a la atmósfera.

En este proyecto de investigación se propuso como caso de estudio un sistema de iluminación natural para reducir el consumo energía y dar confort a los usuarios, en un edificio deportivo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, en la Ciudad de México que se utiliza para la realización de actividades deportivas.

Se plantearon diversas estrategias para el óptimo aprovechamiento de la luz natural, en base a la implementación de sistemas lumínicos innovadores de alta eficiencia, estando enfocadas a proporcionar niveles de iluminación natural adecuada, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales en el edificio del caso de estudio en condiciones óptimas de confort lumínico.

El proceso experimental definido en el planteamiento del problema se dividió en cuatro partes. La primera parte definió un proceso para la caracterización de la situación existente, en la cual se describieron los procedimientos de medición de los aspectos cuantitativos como es la iluminancia exterior, iluminancia interior, reflectancia y transmitancia de las superficies, realizado en el edificio denominado como caso de estudio. La realización del monitoreo con iluminación natural se llevo a cabo en el

edificio real, para precisar las características lumínicas del espacios interior, bajo tres diferentes condiciones cielo despejado, cielo nublado difuso, cielo semi-nublado.

La segunda parte definió un proceso para la evaluación lumínica de una situación ideal, en el modelo a escala, a través de los valores recomendados por normas, lo que permitió establecer una comparación entre valores existentes y recomendados. En este proceso se identificaron los valores de iluminación recomendados según normas, para determinar el uso o actividad “situación ideal”. Esto permitió establecer la comparación de valores contenidos a través de mediciones en sitio, evaluados por modelos a escala, bajo las mismas condiciones que se aplicaron al edificio existente las tres condiciones: Cielo despejado, cielo nublado difuso, cielo semi-nublado.

La tercera parte definió un proceso de selección de alternativas de diseño: diámetro, geometría, forma, materiales al interior y distribución espacial para la evaluación de la eficacia de los ductos lumínicos en términos de distribución lumínica y de intensidad en lux. Las variables utilizadas en el monitoreo y análisis de las mediciones realizadas al modelo tridimensional se realizaron mediante una matriz de variables de diseño que dieron como resultado de la condición 11 a la 29, cada una consideró el tipo de cielo nublado o despejado, altura interior a ras del plafón, altura exterior a 90cm y 60cm del techo, material al interior del ducto de especlar de alta transmitancia de 3 MM y blancos, diámetro de 45 cm y 60 cm, y el distanciamiento espacial de 3m. A partir del análisis del monitoreo en el modelo tridimensional, se aplicó el factor de día, y la transmitancia de los materiales a cada una de las condiciones se determinó que la condición optima de diseño de ducto lumínico con la mayor aportación lumínica dentro de los niveles lumínicos requeridos fue la condición 15 en modelo tridimensional con cielo despejado con transmitancia especlar, altura exterior de 90cm, diámetro al interior de 45 cm, distribución espacial de 3m. El comportamiento lumínico fue el siguiente: La iluminancia exterior horizontal al inicio de la prueba fue de 11060 lux, al terminar de 11300 lux, con un promedio de 11180lux. Se presenta los niveles



mínimos en promedio de 380 lux a el máximo de 1595 lux, con variación de intensidad lumínica en los ejes 1 al 5 es uniforme con mayor intensidad lumínica, permite tener el gimnasio con una iluminación natural adecuada sin la utilización de energía eléctrica, los niveles de iluminación mínimos son más constantes sin cambios lumínicos. Aplicando el coeficiente de transmitancia en se obtuvieron los niveles mínimos presentando en 490 lux a 1148 lux los máximos en el área central localizados cerca de ventanas, no tiene variación apreciable son constantes de 504 a 712 en promedio. Los niveles de iluminación son uniformes con la aplicación de los factores de transmitancia, esto nos refiere que la iluminación es adecuada. Se observaron los aros de luz proyectados por los ductos lumínicos donde nos permite observar que la distribución espacial es la correcta, se cuenta con una iluminación uniforme dentro de los requerimientos lumínicos requeridos para este edificio deportivo. Con la utilización de difusores en la parte inferior del ducto este fenómeno de proyección en el piso desaparecerá. Se observa que el factor de día es se encuentra más del 70 % dentro del rango de confort lumínico. El otro 30% se observa un poco excesivo para los niveles de iluminación que son recomendados por los estándares internacionales. Si fuera el partido televisado, los requerimientos lumínicos serian perfectos en un rango de 700 lux a 800lux.

La cuarta parte se observó el óptimo funcionamiento del diseño de ducto lumínico seleccionado con transmitancia especular, altura exterior de 90 cm, diámetro interior de 45 cm, distribución espacial de 3 metros, se realizaron mediciones durante un año mediante la simulación del gnomon en fechas significativas como son solsticios y equinoccios a las 9:00 AM, 12:P.M. y 3 P.M. se obtuvieron valores dentro de los rangos de 280 lux como mínimos y 540 lux como máximos, los niveles se encuentran dentro de los rangos de confort lumínicos y los niveles determinados por los estándares nacionales e internacionales para gimnasios, dando como resultado un uso eficiente de la iluminación natural, con ahorros de energía considerables durante el año como comprobación del funcionamiento del sistema alta eficiencia lumínica. Con esté trabajo

se comprobó que los ductos lumínicos son altamente recomendables para estos edificios y su aplicación en torno al caso de estudio es altamente recomendable.

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la utilización de ductos lumínicos para el aprovechamiento de la luz natural es una alternativa de diseño que puede contribuir a lograr confort lumínico para los ocupantes del edificio deportivo y un ahorro importante de energía eléctrica así como una disminución de la emisión de contaminantes a la atmósfera. Es precisamente en este tipo de proyectos donde el potencial de la luz natural en su componente directa puede ser aprovechado y por medio de estrategias lumínicas como los ductos lumínicos, que por medio de una captación cenital directa y posteriormente una redistribución al interior, permitan coadyuvar a la obtención de condiciones adecuadas de niveles de iluminancia y confort lumínico.

Se sugiere que este tipo de estudios continúen analizando otros dispositivos de alta eficiencia energética, como son las Repisas de luz (*Light shelves*), los Sistemas de seguimiento solar (*tracking systems*), los Paneles prismáticos (*Prismatic panels*), las Fibra óptica (*Optical fibers*) y los lentes cóncavos y convexos (*Concave lens*).

## BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2001, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings - ANSI Approved, NY, 2002.
- Anderson, A. y Wells, M.: Guía fácil de la energía solar pasiva. Calor y frío natural. Barcelona. Gustavo Gili.
- Bardow, Patrick. Sol y Arquitectura. Gustavo Gili, Barcelona 1980.
- Bedova, César. Las Energías Alternativas en la Arquitectura. Colegio oficial de Arquitectos de Madrid. 1982.
- Behling, Sophia. Sun Power: The Evolution of Solar Architecture. Prestel. 1996
- Camous, R. y Watson, D.: El hábitat bioclimático. De la concepción a la construcción. Barcelona. Gustavo Gili. 1986
- Cantarell, Jorge. Geometría, Energía Solar y Arquitectura. Trillas, México, D.F. 1990.
- Corrado, M.: La casa ecológica. De Vecchi.
- Crowther, Richard L. Ecologic Architecture. Butterworth Architecture. 1992.
- Diaz, Ernest. La Arquitectura y el Sol. Protección solar de los edificios. Gustavo Gili, 1967.
- Evans, Martin. Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar. EUDEBA. Buenos Aires 1985.
- Ferreiro, Héctor. García. José. Manual de Arquitectura Solar. Trillas 1991.
- García Chávez, J. R. Integración de Estrategias Bioclimáticas para Obtención de Confort Térmico y Lumínico en Edificaciones Comerciales. Memorias de ANES, México, 2004.
- García Chávez, J. R., González, E. Importancia del Confort Termolumínico en las Edificaciones de Oficinas. Memorias de ANES, 2001.
- García Chávez, José R. Viento y Arquitectura. Trillas 1995.
- García Chávez, José R. Diseño Bioclimático para el ahorro de energía y confort ambiental integral. 1996.
- Givoni B, A. Man, Climate and Architecture, Architectural Science Series. Publishers. Ltd. London 1976.

González, Eduardo/ Hinz, Elke. Proyecto, Clima y Arquitectura. Gustavo Gili, Barcelona. 1986.

Gonzalo, Guillermo. Energía, Bioclima y Arquitectura, IAA-FAU-UNT, Tucumán, Argentina, 1990

Izar, Jean Louis / Goyot, Alan. Arquitectura Bioclimática. Gustavo Gili, Barcelona. 1980.

Lacomba, Ruth. Manual de Arquitectura Solar. Trillas. México, D.F. 1991.

López Morales, Francisco J. Arquitectura Vernácula en México.

Loubes, J.P.: Arquitectura Subterránea. Aproximación a un hábitat natural. Barcelona. Gustavo Gili.

Mazria, Edward. El Libro de la Energía Solar Pasiva, Gustavo Gili, 1983

Mc Phillips, Martin. Viviendas con Energía Solar Pasiva. Gustavo Gili, 1985.

Moore, Fuller. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. Van Nostrand Reinhold. 1993.

Motloch, John L. Introduction to Landscape Design. Van Nostrand Reinhold. 1991.

IESNA. Lighting Handbook Reference, 2000. 9th Edition. IESNA, NY, 2000.

Olgyay, Víctor. Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona. Gustavo Gili. Barcelona. 1998

Pearson, D.: Arquitectura natural. Integral 1994.

Robert Sabady, P.: Edificación Solar Biológica. Ceac.

Ruano, M.: Ecurbanismo. Entornos Humanos Sostenibles, 60 Proyectos. Barcelona. Gustavo Gili, 1999.

Serra, Rafael. Arquitectura y Clima. Gustavo Gili, Barcelona. 1999.

Serra, Rafael: Clima, lugar y arquitectura. Manual de diseño bioclimático. Progenza, 1993.

Serra, Rafael y Coch, E Arquitectura y Energía Neutral. Ediciones UPC. Barcelona. 1995

Vale, Robert & Brenda. La Casa Autónoma. Serie Tecnología y Arquitectura. Gustavo Gili, 1978.

Velez, Roberto. La Ecología en el Diseño Arquitectónico. Trillas. 1992.

Wachberer, Michael & Henry. Construir con el Sol. Gustavo Gili, 1984.

Watson, D.: La Casa Solar. Madrid. H. Blume, 1985

Wright, David. Arquitectura Solar Natural. Gustavo Gili, 1983.

Yeang, K.: Proyectar con la Naturaleza. Bases Ecológicas para el Proyecto Arquitectónico. Barcelona. Gustavo Gili, 1999

Zabalbeascoa, A. y Rodríguez, J.: Renzo Piano, Arquitecturas Sostenibles. Barcelona Gustavo Gili, 1999.

## REFERENCIAS

1. Robins, Claude L Daylighting, Design and Analysis , Ed Van Nostrand New Cork 1986
2. Serra Rafael, Coch Arquitectura y Energía Natural, Ed. Alfaomega 1<sup>er</sup> edición, 1995 .
3. James and James , Commmissioon of the European Comunities Direcorate General XII for Since , Research and Development. Brussels 1995 cap 2.12.
4. Mazria, (1985) libro amarillo
5. <sup>1</sup>IDMP, Internacional Daylighting Measurement Program, forma parte de CIE, Comisión Internacional de Eclairge , 1991.
6. Enriqueta García, Modificaciones ala sistema de clasificación climática de Copen, México Talleres Larios,1988.
7. Serra Forensa R, Coch Roura H. “Arquitectura y Energía Natural”, Ed. Alfaomega, Barcelona 1995 pag 34-37
8. Pupoo, E. Acondicionamiento natural y Arquitectura Ed. Marcombo, S.A. Ed Barcelona 1971.
9. Fontoynt, M, Berrutto, V. Daylighting performance of buildings monitoring procedure . Right Light 4 Vol.2 (1999) pag 125
10. González Matterson, M. Kralij evaluación de condiciones de iluminación natural con luz cenital Mediciones en edificios de la ciudad de Buenos Aires. Centro de Investigación habita y energía, Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Revista Avena, Buenos Aires Vol 4 , 2000
11. (V.Olgay, 200) victor Olga libro del librero blanco
12. Moor, Fuller, Concepts and Practice of Architectural Daylighting; Van Nostrand Reinhold Company New York 1985.

- 13.<sup>1</sup> Patín, A., Mirchell, C de la Rosa, 1994 “determinación y distribución de Luminancias de Cielos para diseños con iluminación natural. 17 Reunion de ASADES tomo II, pp521-527
- 14.<sup>1</sup> Serra Forensa R., Coch Roura H. “Arquitectura y Energía Natural”, Ed. Alfaomega, Barcelona 2005.pp187-192
- 15.<sup>1</sup> CIBSE (estandarización Británica

## Bibliografía Electrónica

[www.cie.co.at/at](http://www.cie.co.at/at)

[www.lighteducation.com](http://www.lighteducation.com)

[www.ziogiorgio.it](http://www.ziogiorgio.it)

[www.sib2000.it](http://www.sib2000.it)

[www.usitt.org](http://www.usitt.org)

[www.aic.colour.org](http://www.aic.colour.org)

[www.fadu.uba.ar/sicyt/color/gac](http://www.fadu.uba.ar/sicyt/color/gac)

[www.ncscolour.com](http://www.ncscolour.com)

[http://www.borderenergy.org/html/esp\\_case\\_studies.htm](http://www.borderenergy.org/html/esp_case_studies.htm)

<http://www.ises.org/sepconew/Pages/CountryCaseStudyMX/5.html>

<http://www.lunatubsolar.com/index.asp?web=lunatub>

<http://www.espaciosolar.com/>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/index.shtml>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/buildings/elements/exterior/shutters.html>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/glossary/glosetol.html>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/glossary/glosetol.html>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/synthlight/links/software.html>

<http://www.lighting.com/section.cfm?id=74&page=/main.html>

<http://www.lighting.com/>

<http://www.cepis.org.pe/plataforma/arquitectura/indice/indice.htm>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/index.shtml>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/glossary/glosetol.html>

<http://www.lighting.com/section.cfm?id=74&page=/main.html>

<http://www.lighting.com/section.cfm?id=74&page=/main.html>

<http://www.lighting.com/>

<http://www.cepis.org.pe/plataforma/arquitectura/indice/indice.htm>

<http://www.cepis.org.pe/plataforma/arquitectura/clase63/clase63.htm>



<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/es/p20/index.html>  
<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/es/p20/index.html>  
<http://www.pavimentosonline.com/acres/scotchint/index.htm>  
<http://www.ergokprevencion.org/Organizador/Doc/ilu%20K%20V00.pdf>  
<http://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/programa-iluminacion-1679.html>  
[http://www.advancedbuildings.org/main\\_t\\_lighting\\_light\\_shelves.htm](http://www.advancedbuildings.org/main_t_lighting_light_shelves.htm)  
[http://www.advancedbuildings.org/main\\_t\\_lighting\\_light\\_shelves.htm](http://www.advancedbuildings.org/main_t_lighting_light_shelves.htm)  
<http://www.advancedbuildings.org/links.htm>  
[http://www.advancedbuildings.org/main\\_t\\_lighting\\_light\\_shelves.htm](http://www.advancedbuildings.org/main_t_lighting_light_shelves.htm)  
<http://www.laszlo.com.ar/manual454749.htm>  
<http://www.ornalux.com/esp/static.php?category=conceptos>  
[http://www.osvic.com.ar/las\\_luminarias1.htm](http://www.osvic.com.ar/las_luminarias1.htm)  
<http://www.ornalux.com/esp/static.php?category=conceptos>  
<http://www.energydesignresources.com/>  
<http://www.liv.ac.uk/researchintelligence/issue25/lightpipes.html>  
<http://www.tdx.cesca.es/UPC/AVAILABLE/?C=D&O=A>  
[http://www.alanod.de/opencms/sites/alanod.de/de/miro/MIRO\\_Produkte/MIRO\\_LIGHTPIPE/index.html](http://www.alanod.de/opencms/sites/alanod.de/de/miro/MIRO_Produkte/MIRO_LIGHTPIPE/index.html)  
<http://www.acoram.biz/frtubelumiere.htm>  
<http://www.ornl.gov/sci/solar/pdfs/Let%20the%20Sun%20Shine%20In.pdf>  
ORNL - Solar Technologies Program  
[http://www.ornl.gov/info/press\\_releases/get\\_press\\_release.cfm?ReleaseNumber=mr20050830-00](http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20050830-00)  
<http://www.sunlight-direct.com/overview.html>  
Hybrid Solar Lighting: Bringing a little sunshine into our lives, MSNBC, March 2005  
[http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6\\_8\\_Kozai/Kozai%20Fiber%20text.htm](http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6_8_Kozai/Kozai%20Fiber%20text.htm)  
[http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6\\_6\\_Kneipp/Kneipp%20text.htm](http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6_6_Kneipp/Kneipp%20text.htm)  
<http://www.physics.ubc.ca/ssp/research/solarlighting.htm>  
[http://www.physics.ubc.ca/ssp/ssp\\_research.htm#lightpipe](http://www.physics.ubc.ca/ssp/ssp_research.htm#lightpipe)

<http://www.detail.de/Archiv/En/HoleArtikel/5331/Artikel>  
[http://www.idonline.com/adr03/solar\\_contemp\\_eco.asp](http://www.idonline.com/adr03/solar_contemp_eco.asp)  
<http://www.bomin-solar.de/Acrobat/Heliostat/H-4158-USA-Washington-SLP-2001.pdf>  
[http://www.bomin-solar.de/Acrobat/Press/DETAIL\\_4-04\\_SLP-Washington.pdf](http://www.bomin-solar.de/Acrobat/Press/DETAIL_4-04_SLP-Washington.pdf)  
"Solar Light Pipe in Washington, D.C.", DETAIL 4/2004, Building with light  
[http://carpenterlowings.com/clad\\_projects\\_regent%20street.htm](http://carpenterlowings.com/clad_projects_regent%20street.htm)  
Heliobus with 3M Optical Lighting Film (OLF)  
<http://cms.3m.com/cms/US/en/2-197/krcziFU/view.jhtml>  
[http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6\\_6\\_Kneipp/Kneipp%20text.htm](http://ncr101.montana.edu/Light1994Conf/6_6_Kneipp/Kneipp%20text.htm)  
<http://erg.ucd.ie/enerbuild/pdfs/ARTHELIO.pdf>  
<http://www.iuav.it/Didattica1/pagine-web/facolt--di/Antonio-Ca/master-pro/Lux-Europa-2001.PDF>  
<http://www.sunpipe.com/NightLite.htm>  
[http://www.natural-light-skylights.com/pages/light\\_kit.html](http://www.natural-light-skylights.com/pages/light_kit.html)  
<http://www.sunlight-direct.com/lighting.html>  
<http://www.physics.ubc.ca/ssp/research/solarlighting.htm>  
<http://www.xternet.de/bioelektrik/en/true-lite.htm>  
<http://www.solux.net/>  
[http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum\\_001.html](http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum_001.html)  
[http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum\\_001.html](http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum_001.html)  
<http://www.light-office.com/de/products/projects/aurasun.shtml?navid=11>  
[http://www.ross-licht.de/pages/fs\\_suno.html](http://www.ross-licht.de/pages/fs_suno.html)  
[http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum\\_001.html](http://www.e-wenzl.at/lichtliteratur/vollspektrum_001.html)  
<http://www.j-lorber.de/shm/licht/vollspektrum-bedeutg.htm>  
<http://www.villiton.ch/vollspektrumlicht.php>  
<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs>  
<http://www.eetd.lbl.gov/IE.html>  
<http://www.btech.lbl.gov/publications.html>  
[www.eere.energy.gov/consumerinfo](http://www.eere.energy.gov/consumerinfo)

[www.egt.bme.hu/ecobuild](http://www.egt.bme.hu/ecobuild)  
[www.energydesignresources.com](http://www.energydesignresources.com)  
[www.isover.net/asesoria/manuales/](http://www.isover.net/asesoria/manuales/)  
[www.btech.lbl.gov/publications.html](http://www.btech.lbl.gov/publications.html)  
[www.energydesignresources.com](http://www.energydesignresources.com)  
[www.squ1.com/site.html](http://www.squ1.com/site.html)  
[www.yourhome.gov.au](http://www.yourhome.gov.au)

## Curriculum Vitae

### Arq. Rocio Moyo Martínez

Tels. Cel 044 55 39 05 57 36, casa 53 44 42 20

Correo: rociomoyo@yahoo.com.mx

Fecha de Nacimiento: 17 Septiembre 1978

Edad : 30 años

Estado civil: casada



Enero 2006 –dic 2007.	<b>Maestría</b>	<b>Maestría en Diseño</b>
6/6 trim	<b>100% cursada</b>	Línea de Investigación: <b>Confort Lumínico</b>  Elaboración de Tesis: “Sistemas lumínicos de alta eficiencia para el aprovechamiento de luz natural en edificaciones”
Sep-2004 - julio 2005	<b>Especialidad en Diseño</b>	<b>Especialidad en Arquitectura Bioclimática</b>  Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco  Diploma  Fecha de obtención de grado 31 de octubre del 2005
1997sep – julio 2003	<b>Licenciatura</b>	<b>Arquitectura</b>  Universidad Autónoma Metropolitana  Área de Concentración: <b>Realización</b> . Tema de proyecto Terminal: La elaboración del anteproyecto del Hospital Psiquiátrico para el ISSEMYN del Estado de México.
	Titulada	

### Docencia

Enero 2008 – a la fecha	<b>Departamento de Medio Ambiente</b>  Profesor de Tiempo Completo, indefinido, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Materias: Instalaciones I y II, Sistemas de Acondicionamiento VI.
Marzo-Julio 2007	<b>Departamento Evaluación Diseño en el Tiempo</b>  <b>Profesor asociado</b> (temporal) Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.

## Ponencia

20 al 24 de oct 2008 ANES en la XXXII Semana Nacional de Energía. Mérida, Yucatán.  
Sistemas lumínicos de alta eficiencia Energética, para el aprovechamiento de luz Natural.

## Artículos Especializados

Oct 2008 Sistemas Lumínicos de Alta Eficiencia Energética Para el Aprovechamiento de luz Natural en edificaciones deportivas, ABC52, publicado en las memorias del 2008 del ANES en la XXXII Semana Nacional de Energía.

## Gestión Académica

Oct 2003- dic 2008 Evaluadora, analista y colaboradora administrativa de la Coordinación Divisional de Planeación y Evaluación de Ciencias y Artes para el Diseño. **Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.** Actividades realizadas: Elaboración de la base de datos divisionales de CYAD para los proyectos:

**PIFI 3.4** (2007), **PIFI 3.3** ( 2006) , **PIFI 3.2**(2005) y **PIFI 3.1** (2004) Programa Integral de Fortalecimiento Institucional.

**Asesor PROMEP** (Programa de Mejoramiento del Profesorado), elaboración de la base de datos divisionales de CYAD y dar seguimiento en colaboración de la coordinación general de Planeación de la unidad Azcapotzalco.

29 de abril 2005- 31marzo 2006 **XXXI Consejo Divisional de Ciencias y Artes para el Diseño.**  
**Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco**  
Representante Propietaria de Alumnos de Posgrado

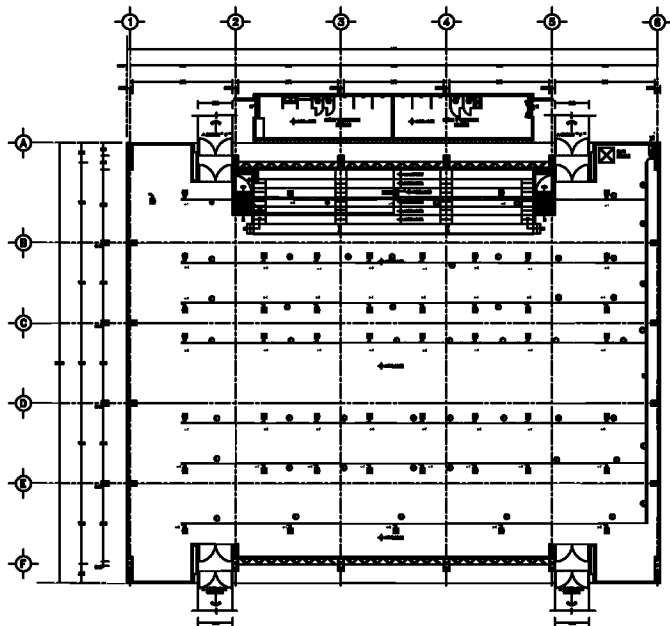
**Idiomas** Inglés 100%

Junio 1997 Certificaate in Teaching English as a foreign Language. Anglo Mexicano y Academia Maddox

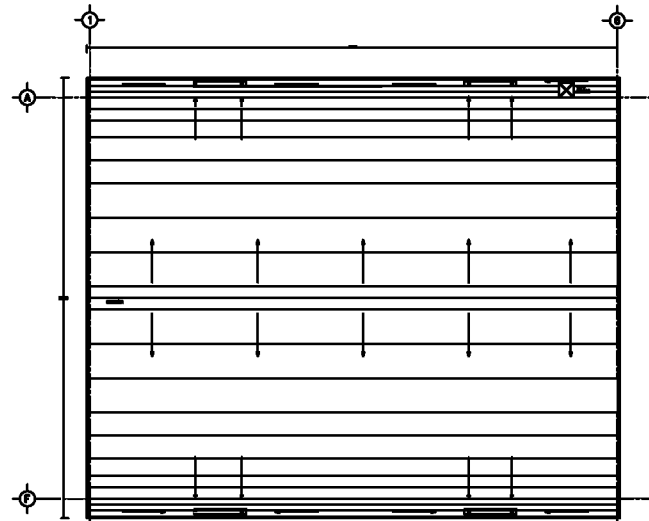
# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

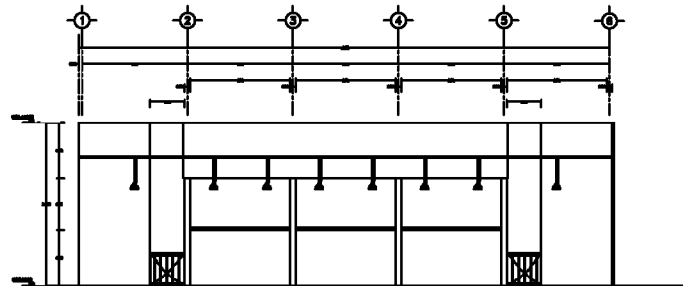
## **PLANOS ARQUITECTÓNICOS**



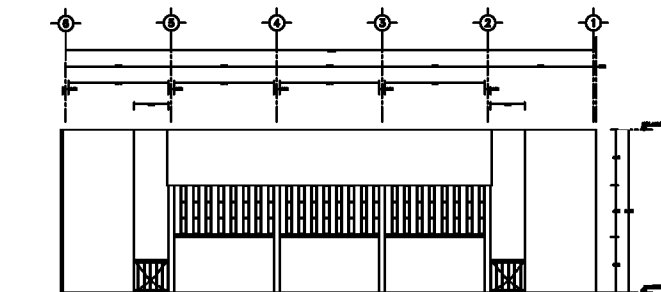
PLANTA ARQUITECTONICA



PLANTA AZOTEA



CORTE LONGITUDINAL



FACHADA SUR

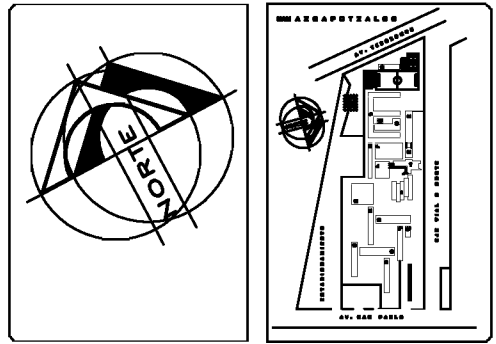
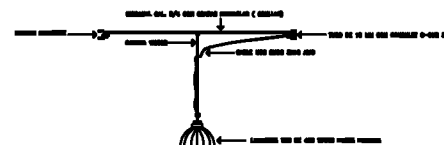
CEDULA DE CABLEADOS

- 1 T-19 MM 3-10, 1-13d
- 2 T-19 MM 4-10, 2-13d
- 3 DUCTO 3-10, 1-13d
- 4 DUCTO 4-10, 2-13d
- 5 DUCTO 6-10, 3-13d
- 6 DUCTO 8-10, 4-13d
- 7 DUCTO 10-10, 6-13d
- 8 DUCTO 12-10, 8-13d
- 9 DUCTO 14-10, 7-13d
- 10 T-31 MM 14-10, 7-13d

CUADRO DE CARGAS

N° DE CABLEADO	LUMINARIA TAM. (MM)	APL. WATTS	PIERES			WATTS	TOTAL		
			A	B	C				
C.1	1-6	1	2000	2000		4000			
C.2	1-6	1	2000	2000		4000			
C.3	2-7	1	3000		800	3800			
C.4	3-8	1	3000		800	3800			
C.5	4-11	1		3000	800	3800			
C.6	10-13	1		3000	800	3800			
C.7	12-15	1	3000	3000		6000			
TOTAL			10	10000	10000	40000	SOLICITA DE CONEXIONES		

DETALLE DE SUJECION DE LUMINARIA



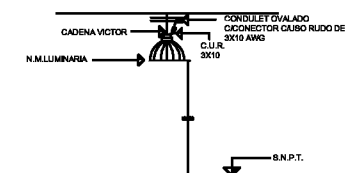
## SIMBOLOGIA

- TUBERIA CONDUIT GALVANIZADA
- CONDULEY SERIE OVALADA
- LUMINARIA CON CAMPANA DE ACRILICO MODELO THB-400
- ▤ TABLERO DE DISTRIBUCION DE ALUMBRADO CATALOGO HALF-45-448-F MARCA FEDERAL PACIFIC (EXISTENTE)
- ⊕ VARELLA PUESTA A TERNIA CON PUNTO DE 3/4"
- ▬ DUCTO CUADRADO EMBEBADO DE 4"x4" MARCA SQUARE

## NOTAS GENERALES Y MATERIALES A EMPLEAR

- LA TUBERIA SERA CONDUIT PARED GRUESA MARCA OMEGA O SIMILAR
- LA TUBERIA DE DIAMETRO NO ESPECIFICADA SERA DE 19 MM DE DIAMETRO
- LAS LUMINARIAS ESPECIFICADAS SERAN: LUMINARIA INDUSTRIAL MODELO THB-400 DE 400 WATTS MARCA LITONIA CON BALASTRO AUTOREGULADO A 220 VOLTS/50 Hz 3 FASES 3 HILOS ADITIVOS METALICOS CON CAMPANA DE ACRILICO MARCA LITONIA CON BANCOS DE SILENCIO
- LAS LUMINARIAS TENDRAN UNA ALTURA DE SILENCIO DE 10 MTS. S.M.P.T. DEL GRUPO E IMAN CILINDRICAS CON CADENA VICTOR
- LOS CONDULEY SERAN SERIE 8 MARCA CROUSE-HENGE-DOXER CON EMPAQUE Y TAPA DE LA MISMA MARCA
- EL CONDUCTOR A EMPLEARSE DE COBRE SUAVE ABLADE TIPO THW-LS 90° MARCA CONDULEY O SIMILAR QUE CUMPLA CON LAS NORMAS S.C.-CABLE N° 4043
- VER SIMBOLOGIA EMPLEADA
- VER CEDULA DE CABLEADOS
- LA TUBERIA SE SUJETARA A 1.50 MTS. CON ARRANQUES TIPO SUJETADA A LA ESTRUCTURA EXISTENTE

DETALLE DE ALTURA DE LUMINARIA



Casa abierta al tiempo

Proyecto  
**EDIFICIO "R"**  
**GINNASIO**  
UNIDAD AZCAPOTZALCO

Arquitectónico

Arg. Rocio Moya Martinez

Anexo

1

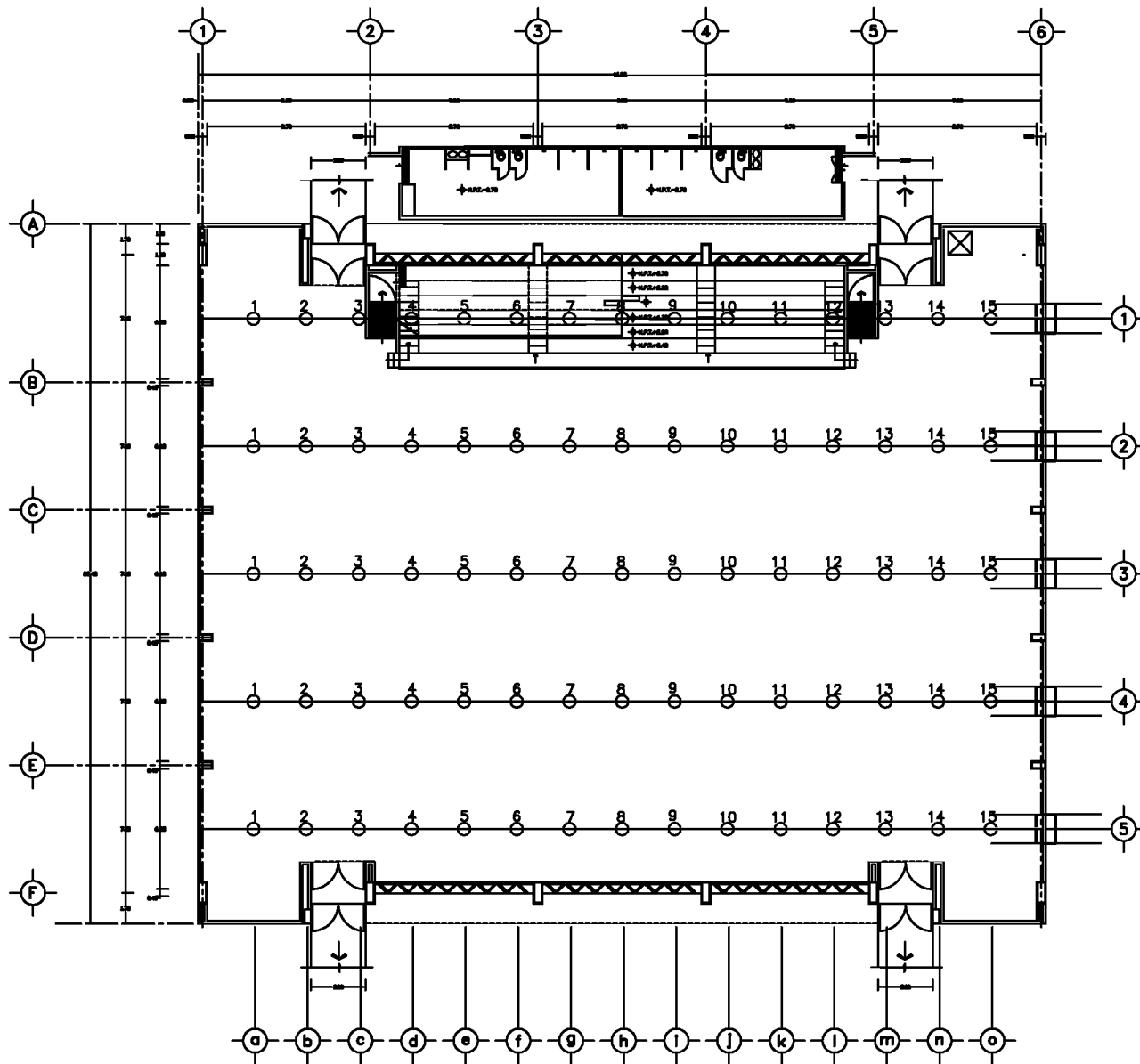


# **ANEXO II**

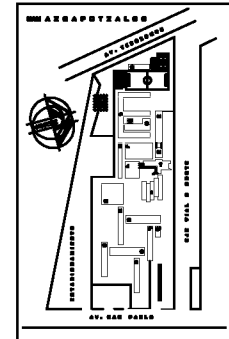
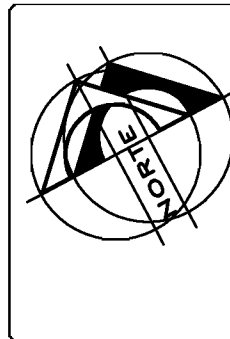
## **HORARIO DE USO DEL GIMNASIO**

# **ANEXO III**

## **PLANOS DE LAS MEDICIONES EN MODELO TRIDIMENSIONAL**



Puntos de medición en Modelo tridimensional



**CASO DE ESTUDIO :**  
**GINNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA**

NOTAS GENERALES

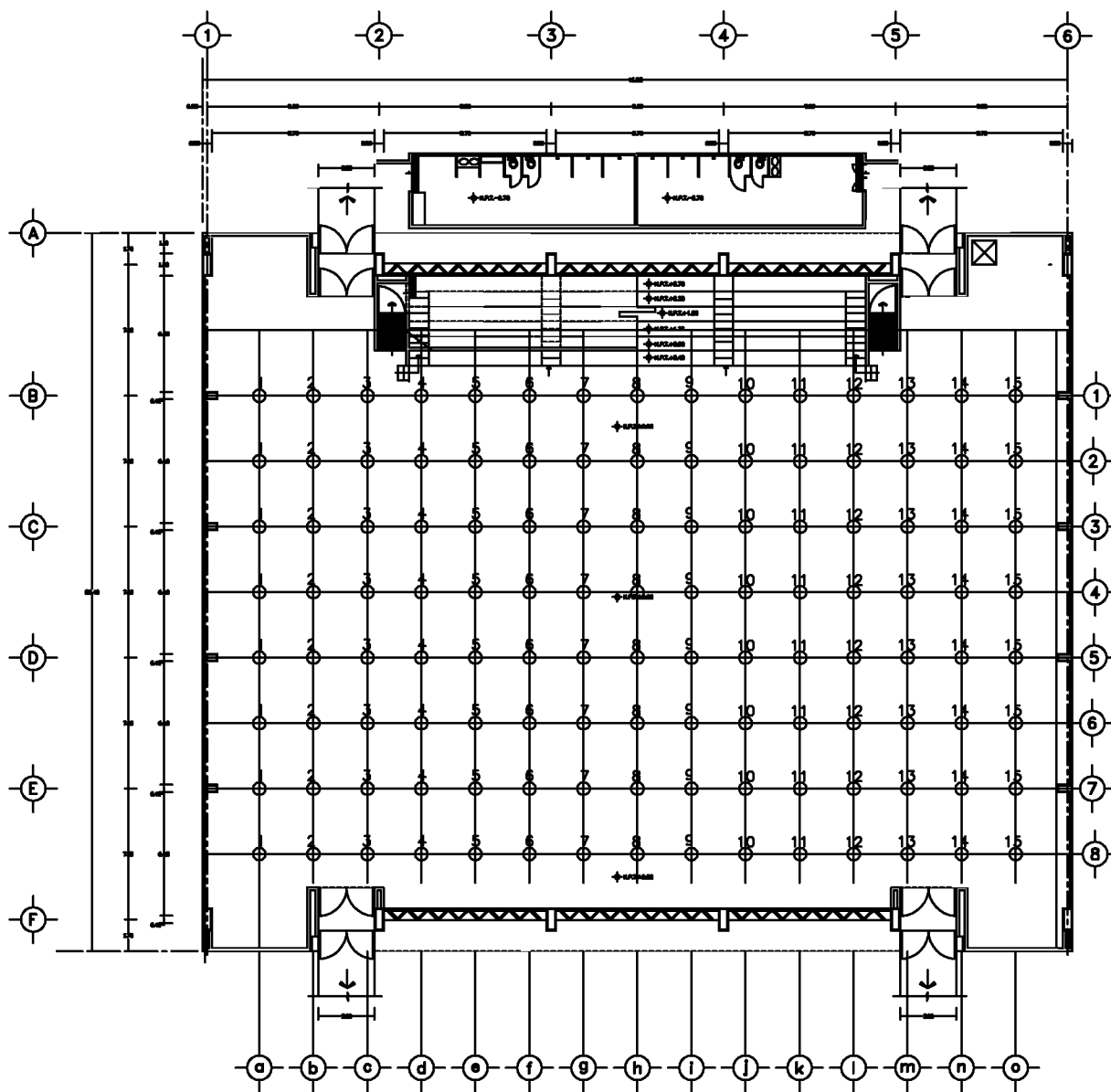
**Puntos de medición en Modelo Tridimensional**



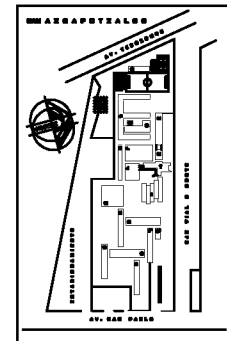
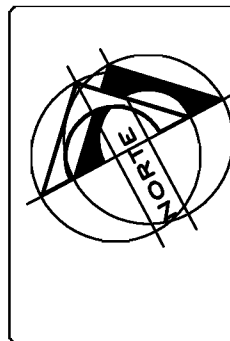
Casa abierta al tiempo

1

<b>EDIFICIO " R "</b> <b>GINNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO	
<b>Puntos de medición en modelo tridimensional</b>	<b>Anexo</b> III
Arg. Rocío Moyo Martínez	10/10/2018



Puntos de medición. Edificio Real



**CASO DE ESTUDIO :**  
**GINNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA**

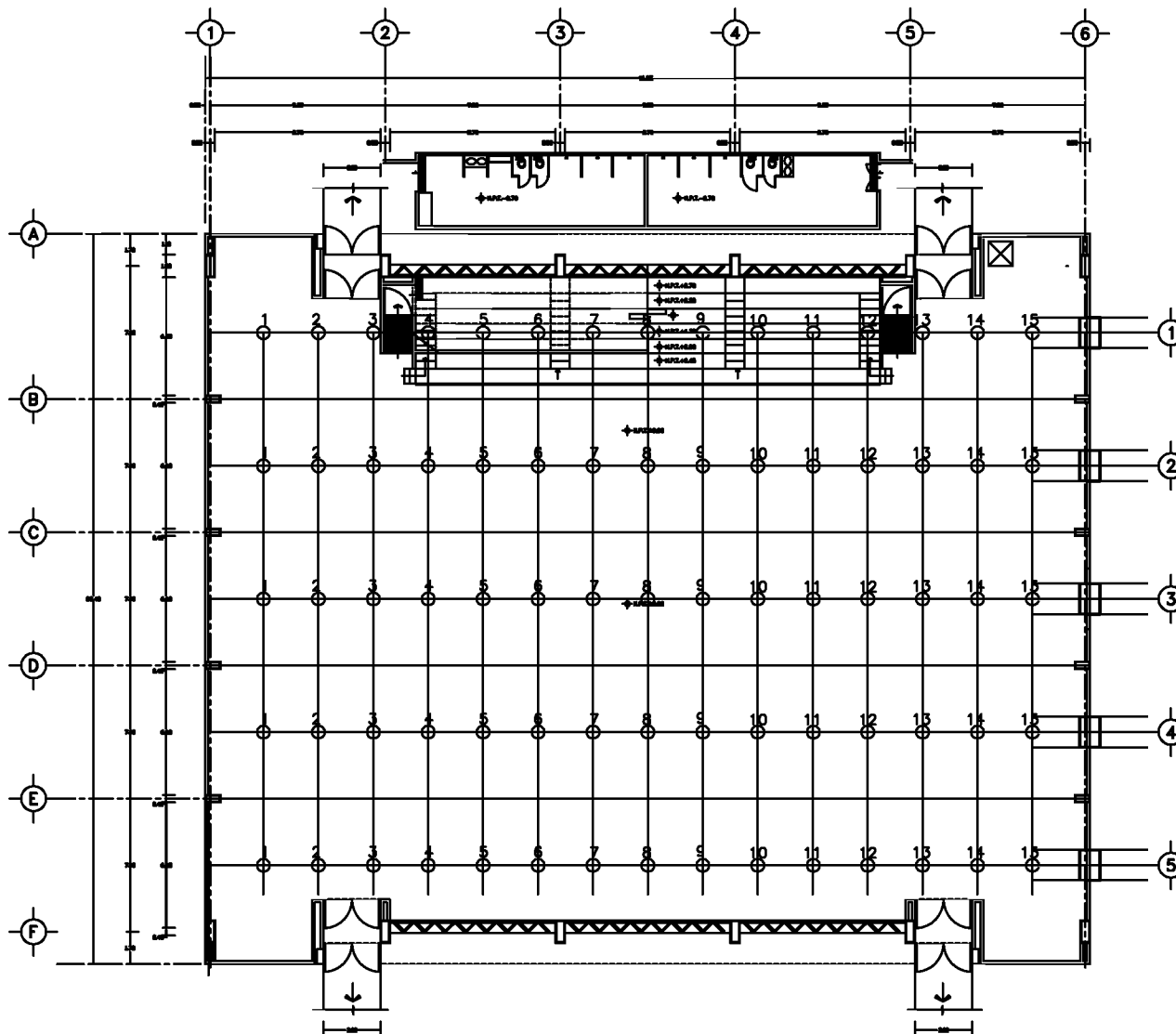
**NOTAS GENERALES**

**Puntos de medición en Edificio Real**

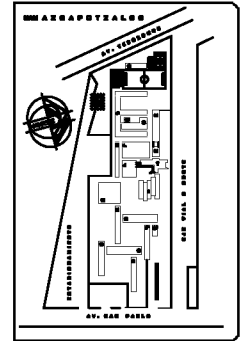
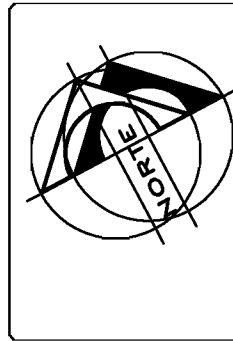


**2**

<b>EDIFICIO " R "</b> <b>GINNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO	
<b>Puntos de medición en</b> <b>modelo tridimensional</b>	<b>Anexo</b> <b>III</b>
Arg. Rocío Moyo Martínez	



PUNTOS DE MEDICION EN MODELO TRIDIMENSIONAL  
EN RELACIÓN AL EDIFICIO REAL



CASO DE ESTUDIO :  
GINNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

NOTAS GENERALES

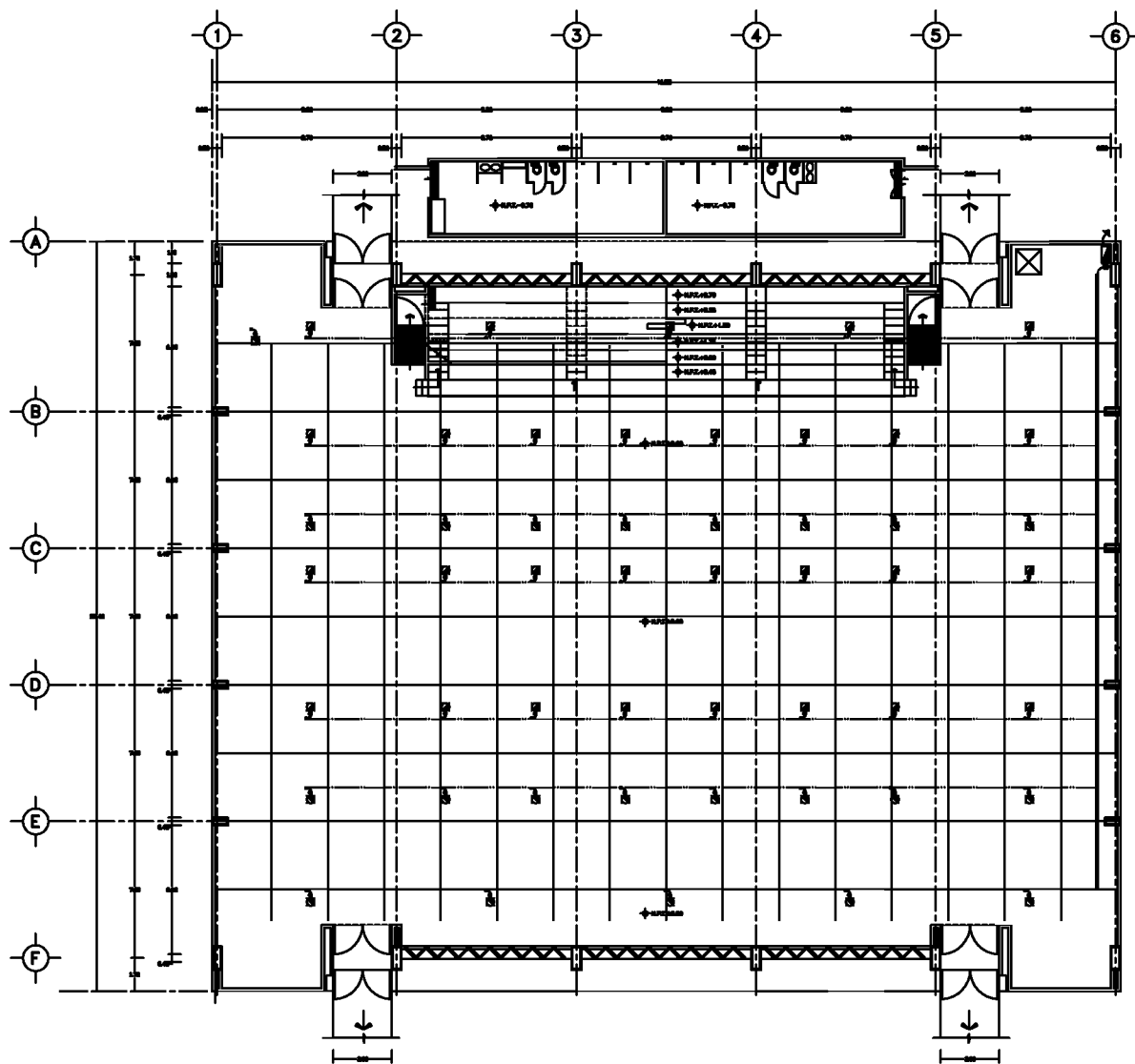
Puntos de medición en Modelo Tridimensional  
en relación al Edificio Real



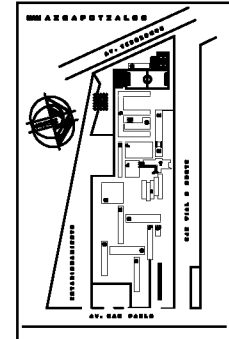
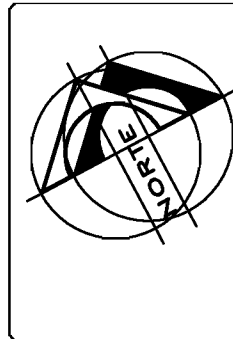
Casa abierta al tiempo

3

<b>EDIFICIO " R "</b> <b>GINNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO	
<b>Puntos de medición en</b> <b>modelo tridimensional</b>	<b>Anexo</b> <b>III</b>
Arg. Rocío Moyo Martínez	



PUNTOS MODELO TRIDIMENSIONAL EN RELACION AL EDIFICIO REAL  
CON ILUMINACION ELECTRICA



#### CASO DE ESTUDIO :

GINNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

#### NOTAS GENERALES

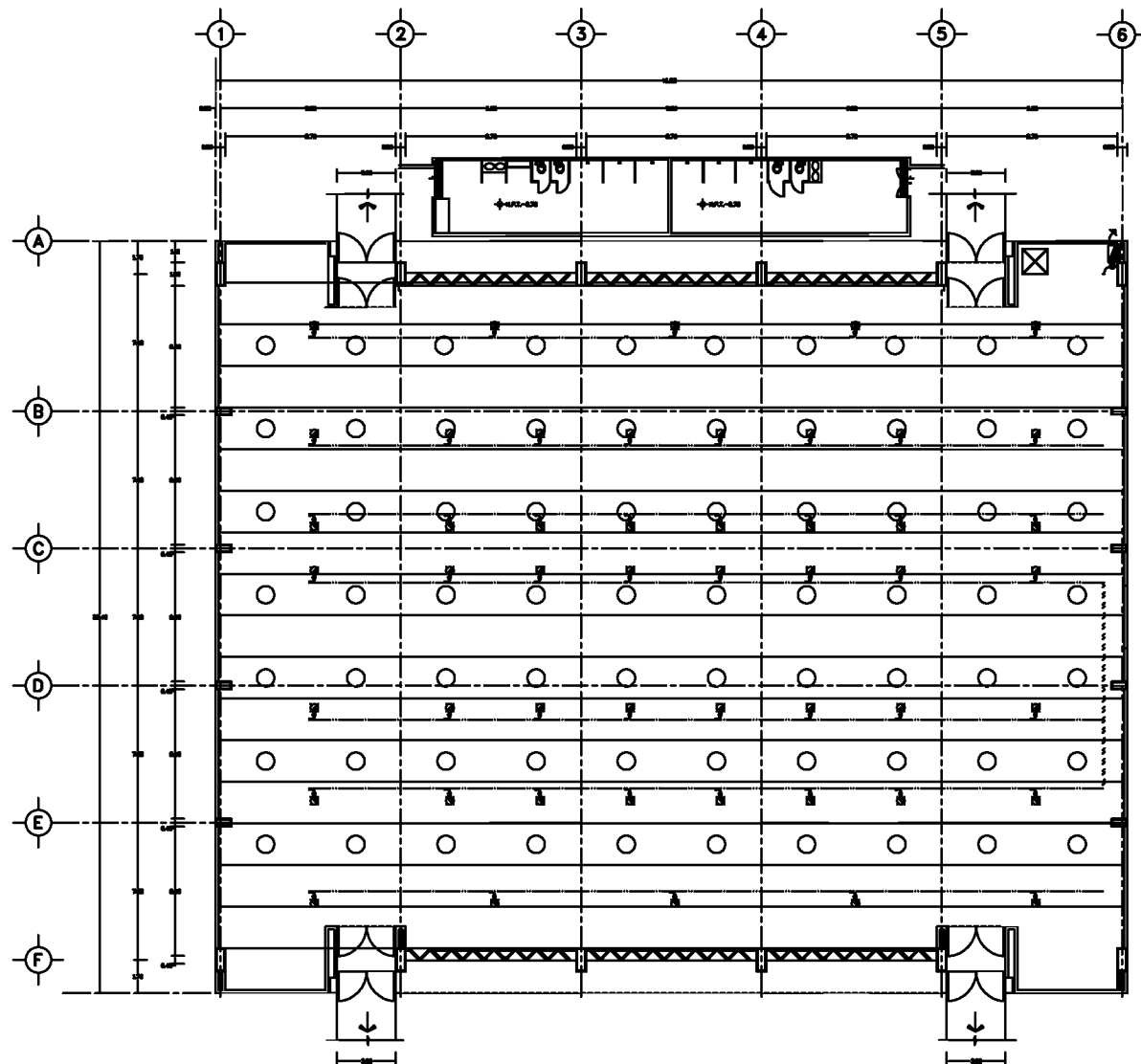
Puntos de medición en Modelo Tridimensional  
en relación al Edificio Real con Iluminación  
eléctrica en base alas luminarias



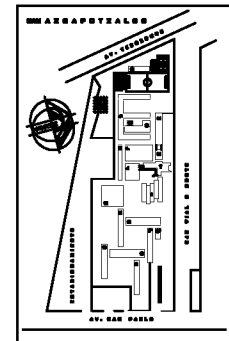
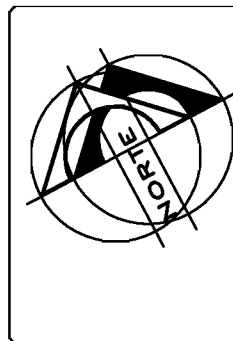
Casa abierta al tiempo

4

<b>EDIFICIO " R "</b> <b>GINNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO	
<b>Puntos de medición en modelo tridimensional</b>	<b>Anexo</b> III
Arg. Rocío Moyo Martínez	



ILUMINACION ELECTRICA EN RELACION AL DIAMETRO  
DEL DUCTO LUMINICO



#### CASO DE ESTUDIO :

GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

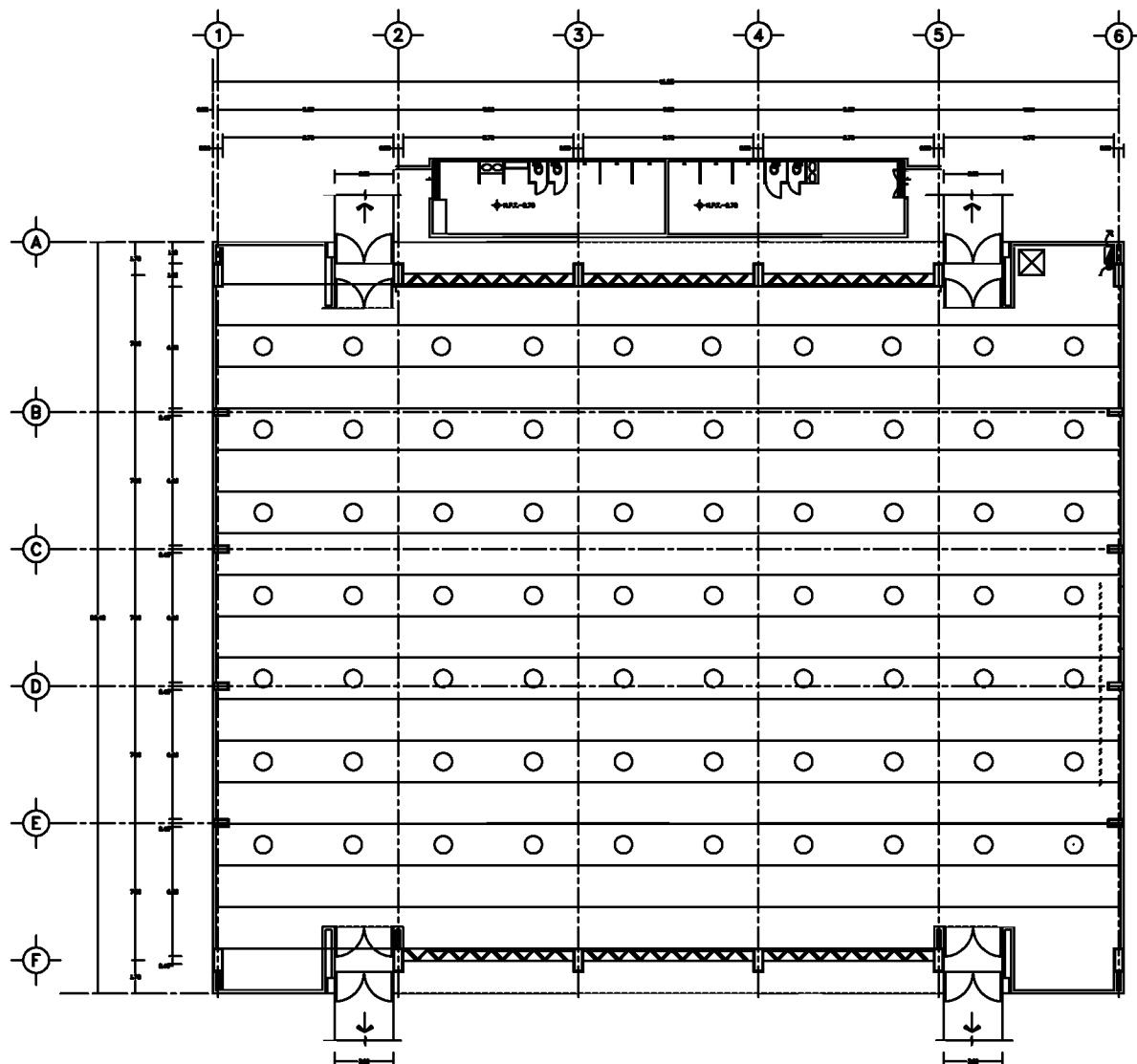
#### NOTAS GENERALES

Iluminación eléctrica en relación a l diametro  
del ducto lumínico

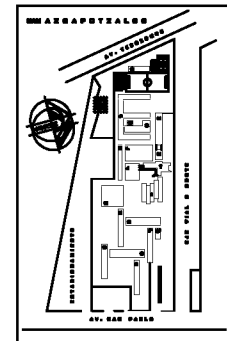
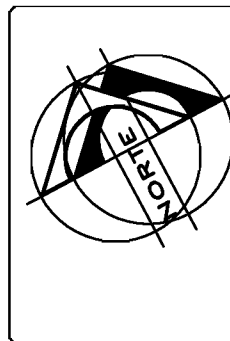


5

<b>EDIFICIO " R "</b> <b>GIMNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO	
Puntos de medición en modelo tridimensional	Anexo III
Arg. Rocío Moyo Martínez	10/10/2018



MODELO TRIDIMENSIONAL CON DUCTO LUMINICO  
Diametro de 60cm



CASO DE ESTUDIO :  
GINNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

NOTAS GENERALES

Modelo tridimensional con ducto lumínico  
Diametro de 60cm.

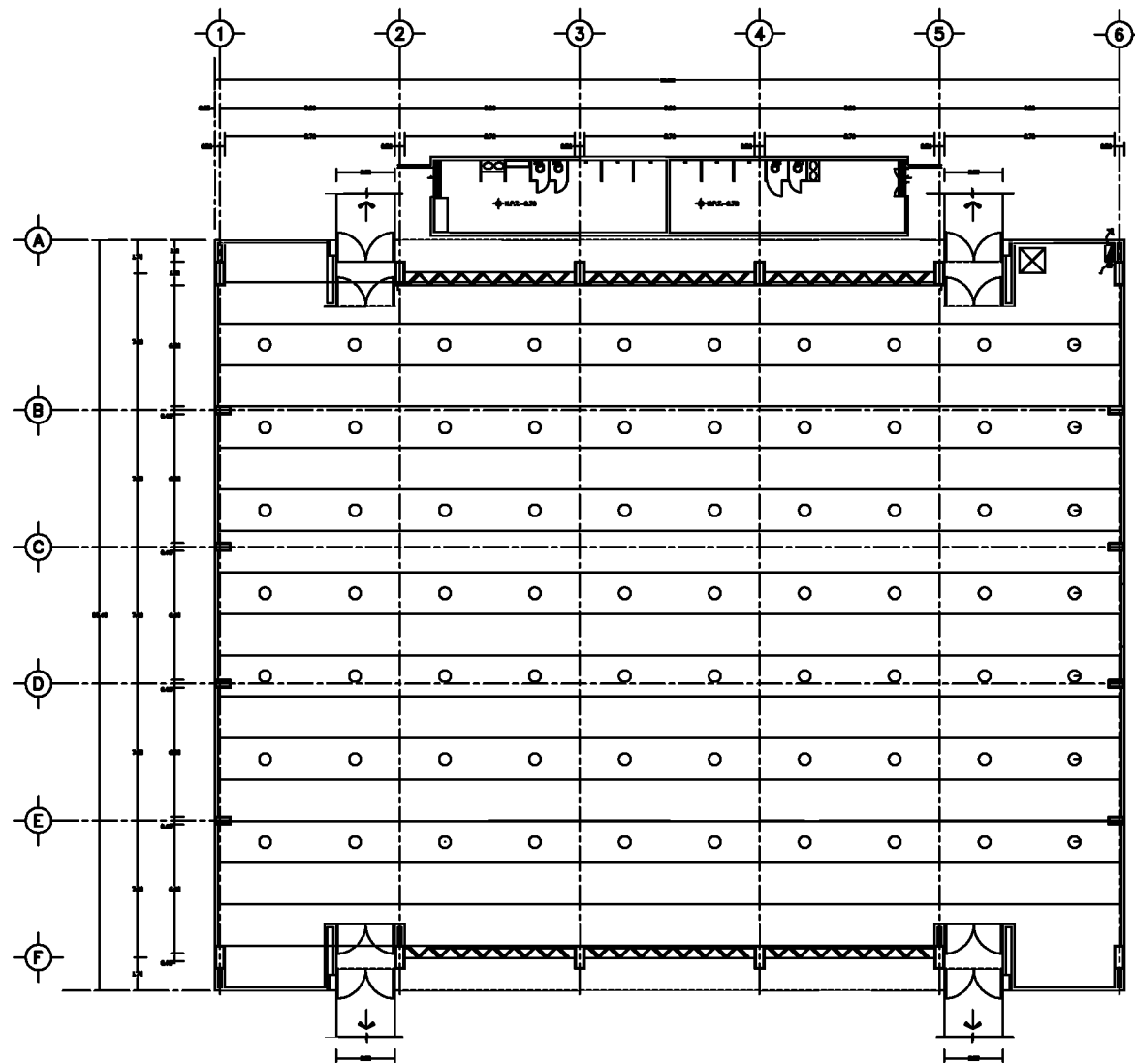


Casa abierta al tiempo

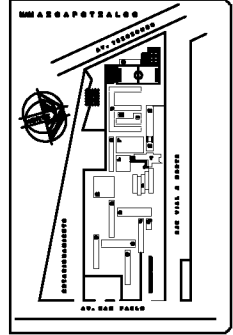
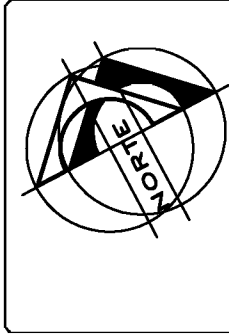
6

Proyecto	EDIFICIO " R " GIMNASIO UNIDAD AZCAPOTZALCO	
Nombre	Puntos de medición en modelo tridimensional	Anexo III
Elaborado por	Arg. Rocío Moyo Martínez	





MODELO TRIDIMENSION CON DUCTO LUMINICO  
Diametro de 45 cm



**CASO DE ESTUDIO :**  
**GIMNASIO UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA**

**NOTAS GENERALES**

**Modelo tridimensional con ducto lumínico**  
**Diametro de 45 cm.**

<p>UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA</p> <p>Casa abierta al tiempo</p> <p><b>7</b></p>	<p><b>EDIFICIO " R "</b> <b>GIMNASIO</b> UNIDAD AZCAPOTZALCO</p> <p><b>Puntos de medición en modelo tridimensional</b></p> <p>Arq. Rocío Moyo Martínez</p> <p>Anexo III</p>
---	---

# **ANEXO IV**

## **GNOMON**

## Reloj Solar Gnomon.

